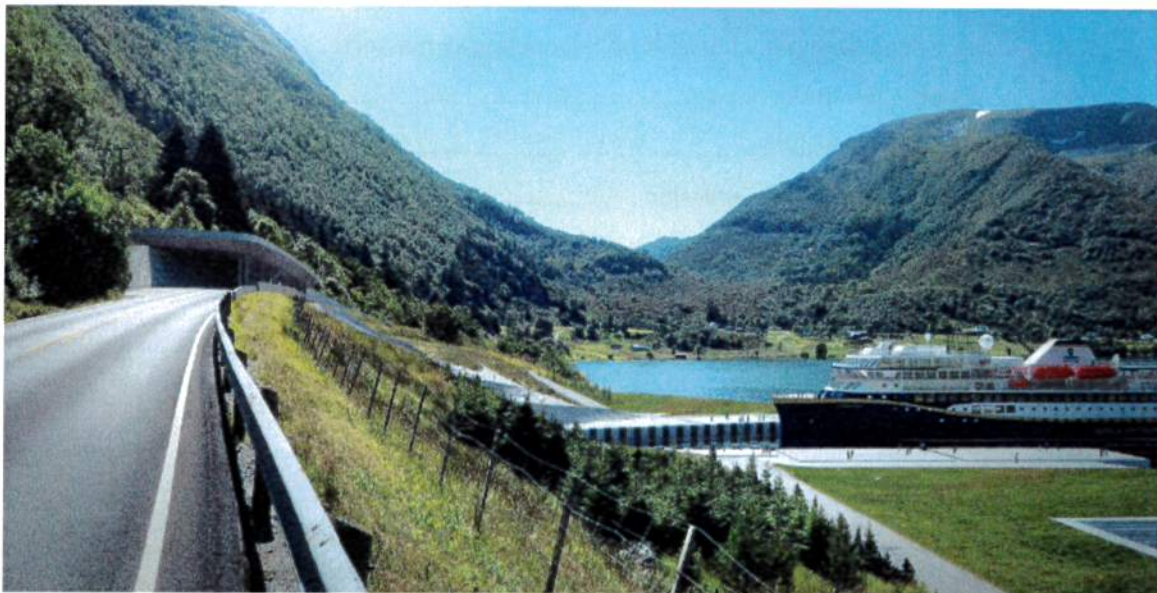


Stad skipstunnel Videreutvikling og prosjektoptimalisering



 concreto

Innhold

| | |
|---|----|
| Liste over tabeller..... | 4 |
| Liste over figurer | 4 |
| 1 Prosjektgrunnlag | 7 |
| 2 Verdianalyse | 8 |
| 2.1 Metode og prosess | 8 |
| 2.2 Avklaringer..... | 10 |
| 2.3 Idéutvikling | 12 |
| 2.3.1 Entringskonstruksjoner | 13 |
| 2.3.2 Ledekonstruksjoner | 14 |
| 2.3.3 Bergsikring..... | 15 |
| 2.3.4 Gjennomføringsstrategi (tunneldriften)..... | 16 |
| 2.3.5 Massehåndtering (uttransport og deponering av masser) | 18 |
| 2.3.6 Vegbru over Moldefjorden..... | 18 |
| 2.3.7 Vann- og frostsikring | 19 |
| 2.3.8 Brann, rømning og ventilasjon | 20 |
| 2.4 Analysefase..... | 21 |
| 2.4.1 Entringskonstruksjoner | 21 |
| 2.4.2 Ledekonstruksjoner | 23 |
| 2.4.3 Bergsikring..... | 24 |
| 2.4.4 Gjennomføringsstrategi (tunneldrift)..... | 27 |
| 2.4.5 Massehåndtering (uttransport og deponering av masser) | 31 |
| 2.4.6 Vegbru over Moldefjorden..... | 31 |
| 2.4.7 Vann- og frostsikring | 32 |
| 2.4.8 Brann, rømning og ventilasjon | 35 |
| 2.4.9 Kuttliste: gangbane i tunnelheng | 36 |
| 3 Oppdatering styrende dokumentasjon | 37 |
| 3.1 Grunnkalkyle..... | 37 |
| 3.1.1 Justering B Konstruksjoner | 37 |
| 3.1.2 Justering C Fjelltunnel | 37 |
| 3.2 Oppdatert kostnadsoverslag | 38 |
| 3.3 Lønns- og prisstigning..... | 38 |
| 3.4 Oppdatert kuttliste..... | 39 |
| 3.5 Prosjektets usikkerhetsbilde | 39 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5.1 | Metodikk | 40 |
| 3.5.2 | Estimatusikkerhet..... | 40 |
| 3.5.3 | Usikkerhetsfaktorer..... | 40 |
| 3.5.4 | Resultat fra usikkerhetsanalysen..... | 40 |
| 3.6 | Oppdatert styrings- og kostnadsramme | 41 |
| 3.7 | Fremdriftsplan | 42 |
| 3.8 | Sammenligning med NTP | 42 |
| 3.9 | Momsberegning | 42 |
| | Vedleggsliste..... | 43 |

Liste over tabeller

| | |
|--|----|
| Tabell 1. Sentrale avklaringer før idé- og analysefasen. | 10 |
| Tabell 2. Utvalgte analysetema | 12 |
| Tabell 3. Idéutvikling entringskonstruksjoner. | 13 |
| Tabell 4. Idéutvikling ledekonstruksjoner. | 14 |
| Tabell 5. Idéutvikling bergsikring..... | 15 |
| Tabell 6. Tunneldimensjoner..... | 16 |
| Tabell 7. Idéutvikling gjennomføringsstrategi (tunneldriften)..... | 17 |
| Tabell 8. Idéutvikling massehåndtering..... | 18 |
| Tabell 9. Idéutvikling vegbru over Moldefjorden..... | 19 |
| Tabell 10. Idéutvikling vann- og frostsikring | 19 |
| Tabell 11. Idéutvikling brann, rømning og ventilasjon | 20 |
| Tabell 12. Dokumenter Entringskonstruksjoner | 23 |
| Tabell 13. Dokumenter Ledekonstruksjoner..... | 24 |
| Tabell 14. Bergsikringsmengder | 25 |
| Tabell 15. Endring fra forventet mengde forprosjekt | 26 |
| Tabell 16. Dokumenter Bergsikring | 27 |
| Tabell 17. Fordeling masseuttak | 29 |
| Tabell 18. Kostnad adkomst- og servicetunnel | 30 |
| Tabell 19. Dokumenter gjennomføringsstrategi (tunneldrift) | 30 |
| Tabell 20. Dokumenter massehåndtering..... | 31 |
| Tabell 21. Dokumenter vegbru over Moldefjorden | 32 |
| Tabell 22. Vann- og frostsikringsmengder..... | 34 |
| Tabell 23. Enhetspriser vann- og frostsikring. | 35 |
| Tabell 24. Dokumenter vann- og frostsikring..... | 35 |
| Tabell 25. Dokumenter Kuttliste | 36 |
| Tabell 26. Oppdatert grunnkalkyle. Alle tall er 2016-tall, inkl. rigg og drift og eks. mva | 37 |
| Tabell 27. Justering B Konstruksjoner, inkl. rigg og drift..... | 37 |
| Tabell 28. Justering C Fjelltunnel..... | 37 |
| Tabell 29. Oppdatert kostnadsoverslag. Alle tall er 2016-tall og eks. mva. | 38 |
| Tabell 30. SSBs Byggekostnadsindeks for veianlegg i alt..... | 39 |
| Tabell 31. Oppdatert kostnadsoverslag. Prisjustert, eks. mva. | 39 |
| Tabell 32. Oppdatert kuttliste | 39 |
| Tabell 33. Nøkkeltall usikkerhetsanalyse (1KV2019-tall, eks mva.) | 40 |
| Tabell 34. Oppdatert kostnads- og styringsramme. 1 kv. 2019-priser..... | 41 |
| Tabell 35. Tentativ fremdriftsplan..... | 42 |
| Tabell 36. Sammenligning NTP og optimalisert Stad skipstunnel. 1. kvartal 2019-priser..... | 42 |
| Tabell 37. Kostnads- og styringsramme. 1 kv. 2019-priser. | 42 |

Liste over figurer

| | |
|---|----|
| Figur 1. Stad skipstunnel, illustrasjon fra forprosjektet. | 7 |
| Figur 2. Fasene i verdianalyse..... | 8 |
| Figur 3. Entringskonstruksjoner Kjødepollen i forprosjektet. | 13 |
| Figur 4. Illustrasjon av vegbrua i forprosjektet. | 19 |
| Figur 5. Reduserte entringskonstruksjoner, Moldefjorden..... | 21 |

| | |
|---|----|
| Figur 6. Reduserte entringskonstruksjoner, Kjødepollen..... | 22 |
| Figur 7 Revidert driftssekvens for tunnelversnittet | 28 |
| Figur 8: Prinsippskisse for drift av tunnel..... | 29 |
| Figur 9. Enhetspriser tunneldrift | 29 |
| Figur 10. Ny løsning for vegbru over Moldefjorden..... | 31 |
| Figur 11. Frostmengde for vintrene i perioden 1970-2018. Vinteren 2018 markert i rødt. | 33 |
| Figur 12. S-kurve..... | 41 |
| Figur 13. Tornadodiagram | 41 |

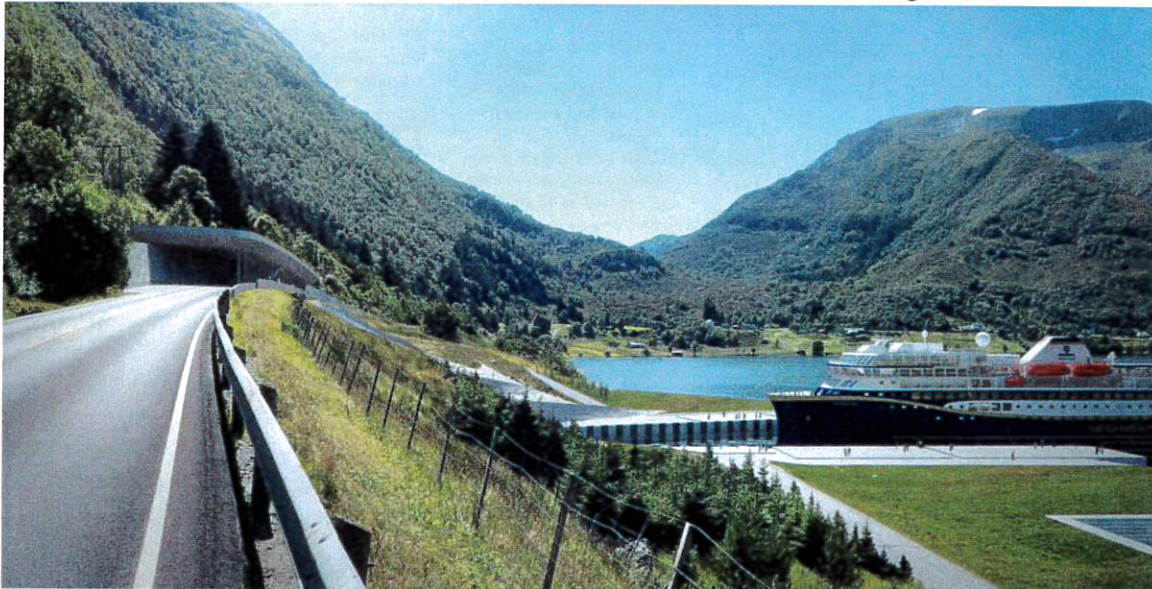
1 Prosjektgrunnlag

En skipstunnel gjennom Stadlandet er blitt utredet i flere omganger både på 1990-tallet og 2000-tallet. I 2010 leverte Kystverket en konseptvalgutredning (KVU) som var en videreføring av en utredning som ble startet i 2007. Ekstern kvalitetssikring av KVUen (KS1) ble ferdigstilt i 2012, og ga anbefalinger og føringer for et forprosjekt. Etter ytterligere forundersøkelser i 2014 leverte Kystverket en sluttrapport, inkludert risikoanalyser, en gevinstrealiseringsplan og et driftskonsept.

På bakgrunn av forundersøkelsene besluttet Regjeringen å gå videre med det store tunnelalternativet, dimensjonert for at fartøy tilsvarende Hurtigrutens skip MS Midnatsol kan seile gjennom tunnelen. Kystverket utarbeidet et forprosjekt med utgangspunkt i det store tunnelalternativet som så gikk til en ekstern kvalitetssikring (KS2).

KS2-rapporten inneholdt elementer både knyttet til nytteverdi og kostnader. I Nasjonal transportplan (NTP) 2018–2019 ligger Stad skipstunnel inne med en forventet kostnad på 2 699 mill. kroner (inkl. mva, 2016-priser). KS2-rapporten la i midlertidig til grunn en styringsramme (P50) på 3 670 (inkl. mva, 2018 kroner).

Samferdselsdepartementet ga 14.12.2018 Kystverket en bestilling om å gjennomgå prosjektet med formål å få kostnaden ned til NTP-nivå. Denne rapporten er sammen med vedlagte dokumenter Kystverkets svar på departementets bestilling. Arbeidet med rapporten er blitt ledet av Concreto med sentrale bidrag fra Kystverket, SINTEF, Dr. Techn. Olav Olsen, Norconsult og Multiconsult.



Figur 1. Stad skipstunnel, illustrasjon fra forprosjektet.

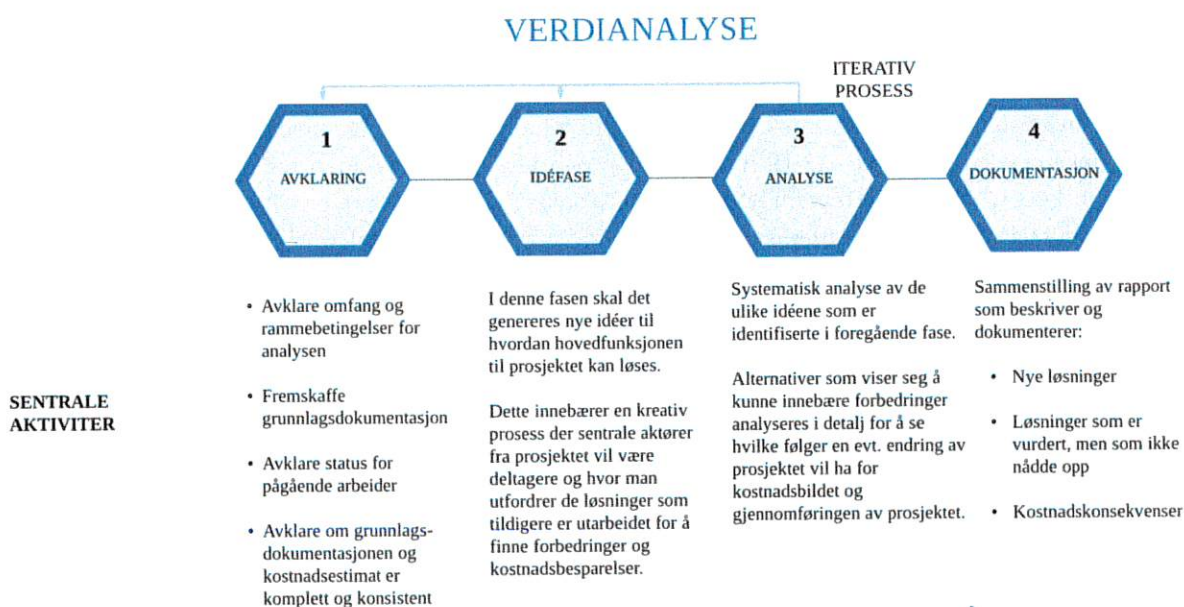
2 Verdianalyse

2.1 Metode og prosess

Prosjektgjennomgangen er systematisert ved hjelp av metodikk for «Verdianalyse». Metoden er effektiv for å identifisere, utrede og dokumentere muligheter for å gjennomføre reduksjoner i prosjekt. I Norge er det mye benyttet innenfor samferdselsprosjekt, og Statens Vegvesen, Nye Veier og Bane Nor er blant aktørene som benytter denne metodikken i sine prosjekter.

Metoden er utarbeidet for å vurdere muligheter for effektivisering, bruk av ny teknologi, nye organiseringsformer m.m. Metoden er særlig egnet for å dokumentere at prosjekter er gjennomgått med et kritisk blikk for å finne best mulig ressursbruk.

De ulike fasene i en verdianalyse er vist i Figur 2.



Figur 2. Fasene i verdianalyse

Teknikken for verdianalyse ble først utviklet i USA under andre verdenskrig, som et verktøy for å sørge for optimal bruk av knappe ressurser i industrien. Senere har teknikken blitt utviklet til å omfatte også andre prosjekter. I USA er verdianalyse innført som en lovpålagt gjennomgang av alle statlige veiprosjekter.

Metoden har tradisjonelt vært lite brukt på prosjekter i Norge, men har siden årtusenskiftet blitt anvendt i økende grad i ulike veiutbyggingsprosjekter. I dag blir verdianalysemetodikk i stor grad benyttet i infrastrukturprosjekter, og anses som en effektiv måte å redusere prosjektkostnader på.

I norsk kontekst legger man gjerne 3 hovedprinsipper¹ til grunn for en verdianalyse:

- En organisert revisjon for forbedring eller kvalitetssikring ved hjelp av et tverrfaglig team
- En funksjonsorientert tilnærming for å identifisere hovedfunksjonene til systemet, produktet, tjenesten eller prosessen og kostnadene forbundet med disse funksjonene.
- Kreativ tenkning som tar i bruk ulike teknikker for å finne alternative måter for å oppnå funksjonen til en lavere kostnad eller forbedre produktets kvalitet.

Basert på disse tre prinsippene vil vi som den del av denne rapporten gjennomføre en verdianalyse hvor vi vektlegger:

- Å identifisere funksjonen og de absolutte kravene til ulike deler av prosjektet
- Ved hjelp av kreative prosesser og analyser, forsøke å finne måter for å oppnå funksjonen til en lavere kostnad

Det er også en mulighet for at vi gjennom disse analysene vil falle ned på at løsningene som ligger til grunn i forprosjektet er de beste løsningen for de ulike delprosjektene. I disse tilfellene vil verdianalysen være et viktig verktøy for å dokumentere vurderingen som ligger til grunn for denne konklusjonen.

¹ SINTEF-rapport STF22 A004460 (utarbeidet av professor Ivar Hovli)

2.2 Avklaringer

Målsetningen med «Avklaringsfasen» er i hovedsak å etterse at det foreliggende grunnlaget er tilstrekkelig komplett til å gå over i den grundigere idé- og analysefasen. Sentrale sjekkpunkter her er om dokumentasjonen som foreligger er tilstrekkelig oversiktlig, komplett og sporbar.

Grunnlaget for analysen

I dette tilfellet er grunnlaget klart presentert gjennom følgende dokumenter:

- Bestillingsbrev fra Samferdselsdepartementet (desember 2018)
- Konseptvalgutredning Stad skipstunnel (Kystverket, desember 2010)
- Ekstern kvalitetssikring fase 1 (Holte Consulting/Pöyry, mars 2012)
- Forprosjekt Stad skipstunnel (Kystverket, mai 2017)
- Ekstern kvalitetssikring fase 2 (Atkins/Oslo Economics, mai 2018)

En gjennomgang av disse dokumentene viser at det allerede foreligger tilstrekkelig grunnlag for en idé- og analysefase, se Tabell 1.

Tabell 1. Sentrale avklaringer før idé- og analysefasen.

| Grunnlag | Sjekkpunkter |
|---|--|
| Et tydelig definert og avgrenset prosjektomfang | <ul style="list-style-type: none"> • Er rammer/premisser/forutsetninger, mål og krav tydelig definert • Er evt. forutsetninger for gjennomføringen identifisert • Er prosjektet veldefinert og entydig avgrenset, herunder valgte løsninger • Er grensesnitt og avhengigheter identifisert og definert • Er resultatmål (kostnad, tid, kvalitet) definert og prioritert |
| Grunnleggende styringsgrunnlag | <ul style="list-style-type: none"> • Gis det en ryddig oversikt over prosjektplaner og -strategier, organisering og prosjektstyringsgrunnlag gjennom styringsdokumentet • Foreligger en plan frem til endelig ferdigstillelse av prosjektet, dvs. prosjektering og detaljering, anskaffelse og kontraktstrategi/leverandøransvar, utbygging, test og prøvedrift etc. • Foreligger det en etterprøvbar gjennomføringsplan i anleggsfasen |
| Estimater | <ul style="list-style-type: none"> • Foreligger det en tydelig og etterfulgt prosjektnedbrytningsstruktur • Foreligger en komplett og etterprøvbar basiskalkyle • Er dokumentasjon av estimatene transparente, og er prosessen bak fremskaffelsen av tallstørrelsene dokumentert og etterprøvbar • Foreligger en etterprøvbar usikkerhetsanalyse, som både ser på muligheter og risikoer i prosjektet |

Grunnlag for idéutvikling

Det tekniske forprosjektet omfattet en kreativ fase hvor eksperter innenfor ulike fagfelt gikk sammen for å undersøke de viktigste fokusområdene for byggingen av skipstunnelen. Gjennom en serie tematiske workshops ble det fremmet en rekke idéer til hvordan prosjektet kunne løses annerledes.

Verdianalysen har bygget videre på forslagene fra denne kreative fasen som innspill til idéutviklingen. Dette har gjort det mulig å gå lengre i vurderingene enn det man ellers ville gjort hvis man kun skulle basert seg utelukkende på nye forslag. Samtidig er nye idéer tatt inn og vurdert på områder der hvor det har vært relevant.

Rammene for analysen

Den viktigste premissgiveren for kostnadene i Stad skipstunnel er dimensjonene på tunnelen. For å bevare hovedfunksjonen til prosjektet og beholde Regjeringens konseptvalg er det besluttet at rammene for analysen skal være den samme størrelsen som i det store tunnelalternativet. Dette betyr at MS Midnatsol opprettholdes som dimensjonerende skip for tunnelens tverrsnitt og at konseptvalget ligger fast.

I tillegg til å bevare hovedfunksjonen til prosjektet gjør en slik analyseramme at et videreutviklet prosjekt vil være direkte sammenlignbart med det prosjektet som tidligere er blitt eksternt kvalitetssikret i to omganger (KS1 og KS2).

2.3 Idéutvikling

I dette trinnet er hensikten å identifisere alternative løsninger for derigjennom å optimalisere prosjektet. Basert på gjennomgangen av prosjektdokumentasjonen og avklaringsfasen ble følgende tema valgt ut for nærmere analyse:

Tabell 2. Utvalgte analysetema

| Tema | Kostnad KS2-rapport inkl. 25 % rigg og drift |
|--|--|
| 1. Entringskonstruksjoner | ██████████ |
| 2. Ledekonstruksjoner | ██████████ |
| 3. Bergsikring | ██████████ |
| 4. Gjennomføringsstrategi (tunneldrift) | ██████████ (sprenging og masseflytting) |
| 5. Massehåndtering (uttransport og deponering av masser) | |
| 6. Vegbru over Moldefjorden | ██████████ |
| 7. Vann- og frostsikring | ██████████ |
| 8. Brann, rømning og ventilasjon | ██████████ |

Temaene ble valgt ut basert på at de hver for seg representerer betydelige kostnadselementer. Samlet utgjør disse syv temaene alle de vesentligste kostnadsbærerne i prosjektet.

Svakt funderte prosjektpremisser kan stå i veien for å velge nye løsninger i et prosjekt. Det er derfor viktig å klarlegge de detaljerte rammebetingelsene, føringene og forutsetningene som ligger til grunn for løsningene i forprosjektet. I idéutviklingen inngår det også å undersøke om rammebetingelsene er pålagt utenfra eller om de følger av konseptuelle valg som prosjektet selv har gjort underveis.

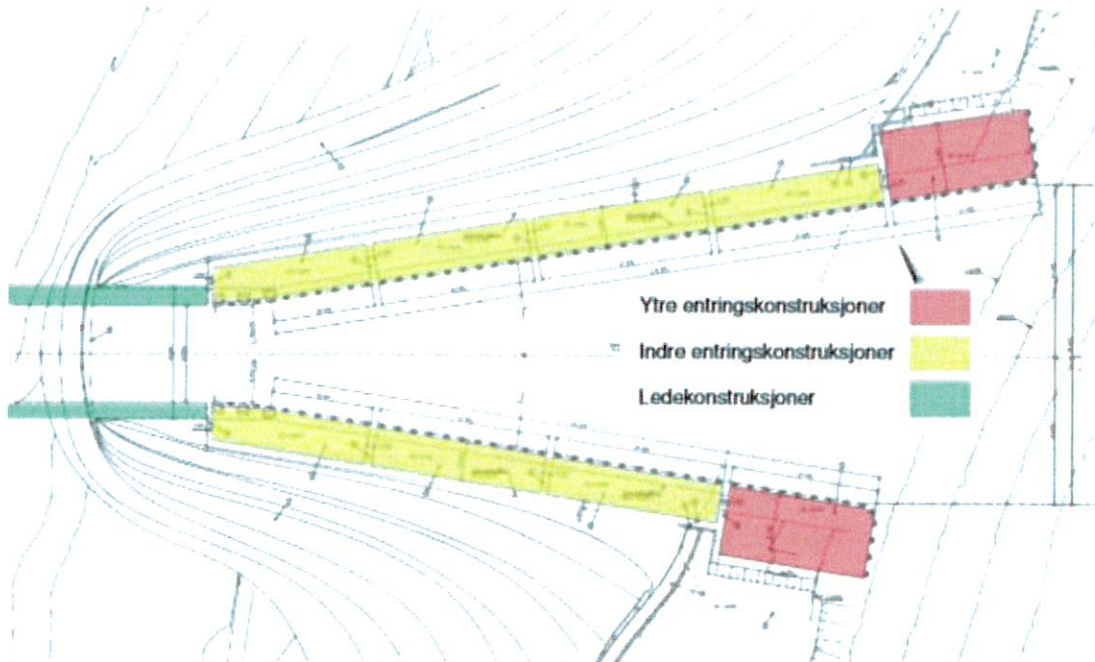
Valg som prosjektet har gjort bør i større grad problematiseres for å se om rammene er hensiktsmessige eller om de eksempelvis er unødvendig strenge. En slik tilnærming til idéfasen gir åpner erfaringsmessig opp mulighetsrommet for alternative løsninger og gir en bedre optimalisering av prosjektet.

Under følger en beskrivelse av idéene som ble vurdert for de utvalgte temaene i Tabell 2.

² Brann, rømning og ventilasjon er ingen separat kostnadspost i KS2. Kostnaden er for sammenligningens skyld satt lik D Tekniske installasjoner.

2.3.1 Entringskonstruksjoner

Stad skipstunnel er i forprosjektet planlagt med entringskonstruksjoner som skal sørge for sikker entring av tunnelen. Konstruksjonene består av to konstruksjoner på hver side av de to tunnelmunningene hvor båtene kan legge til hvis de skulle få problemer med å entre tunnelen, se Figur 3.



Figur 3. Entringskonstruksjoner Kjødepollen i forprosjektet.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av entringskonstruksjonene:

Tabell 3. Idéutvikling entringskonstruksjoner.

| Idé | Beskrivelse |
|----------------------------------|---|
| 1. Kortere konstruksjoner | <p>Det bør vurderes hvorvidt entringskonstruksjonene kan bygges kortere. Dette kan vurderes innenfor dagens krav om minimum lengder og vinkler, ettersom konstruksjonene i Kjødepollen er betydelig lengre enn hva minstekravet til dimensjoner (lengder, vinkler og bredder).</p> <p>Videre bør det vurderes om kravene som er stilt med tanke på vinkler og lengder er de faktiske minstekravene, eller om konstruksjonene kan nedskaleres ytterligere.</p> |
| 2. Utfylling med stedlige masser | <p>Det kan fylles ut med stedlige masser på Moldefjord-siden for å trekke entringskonstruksjonene ut fra tunnelmunningen. Dette kan medføre enklere gjennomføring av oppføringen av konstruksjonene og samtidig medføre flere positive effekter for andre deler av prosjektet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lavere kostnader for massetransport • Mer egnet riggområde for hele anleggsgjennomføringen. |

| | |
|--|---|
| <p>3. Endre fendringskonsept fra friksjonskasser til faste konstruksjoner</p> | <p>Konseptet for entringskonstruksjonene kan endres fra støtabsorberende friksjonskasser, til konvensjonelle stasjonære konstruksjoner.</p> |
| <p>4. Lavere dimensjonerende støtkrefter</p> | <p>Entringskonstruksjonene er i dag dimensjonert for et skipsstøt fra MS Midnatsol ved 5 knop og en angrepsvinkel på 9 grader. Om konstruksjonen kan konstrueres for lavere dimensjonerende støt vil dette senke kostnadene på konstruksjonene.</p> |
| <p>5. Ulike krav til sidene</p> | <p>I forprosjektet er det lagt til rette for at skip skal kunne legge til ved begge sider av entringskonstruksjonene ved behov, og begge sider er basert på samme tekniske løsning, men med noe avvik i lengde.</p> <p>Et kostnadsreducerende tiltak vil kunne være å kun tilrettelegge for å legge til på en av sidene, slik at konstruksjonen på den andre siden kan forenkles.</p> |

Basert på innledende analyser ble det avdekket at lengden på entringskonstruksjonen var satt etter dimensjonerende skip (største skip). Samtidig er det ikke nødvendigvis dimensjonerende skip som i størst grad har behov for å legge til ved entringskonstruksjonene.

Fendringskonseptet med friksjonskasser er en kostbar løsning av høyere kvalitet enn det man finner i tilsvarende sammenhenger, f.eks. ved havneinnløp eller kryssing under brukonstruksjoner. Da det ikke var et absolutt krav ble det besluttet å se nærmere på mer konvensjonelle løsninger man eksempelvis finner i kaikonstruksjoner.

De dimensjonerende støtkreftene ble beholdt, samtidig som det ble akseptert at en overgang til andre fendringskonspeter vil medføre større skader på skip ved en eventuell kollisjon. Det skal fortsatt være mulig å legge til (støtte seg til) begge sider på entringskonstruksjonene. Det ble besluttet å gjennomføre detaljerte analyser av kortere entringskonstruksjoner med et nytt fendringskonsept inkl. simuleringsforsøk for innseiling. Vurderingene knyttet til disse løsningene følger i analysekapittelet.

2.3.2 Ledekonstruksjoner

Stad skipstunnel er i forprosjektet planlagt med ledetekonstruksjoner i tunnelen som skal forhindre at skip støter mot tunnelveggen. Konstruksjonen skal også fungere som rømningsvei ved behov for evakuering, se grønn skravur i Figur 3 over.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av ledetekonstruksjonene:

Tabell 4. Idéutvikling ledetekonstruksjoner.

| | Beskrivelse |
|---|---|
| <p>1. Redusert bredde gangbane</p> | <p>En reduksjon i bredden på gangbanen vil gi et redusert omfang av konstruksjonen, og følgelig kunne bidra til lavere kostnader.</p> |

| | |
|---|--|
| | En slik endring i løsning vil ikke bare kunne føre til reduserte kostnader om dagens løsning blir beholdt, men vil også gi større rom for besparelser for de påfølgende endringsforslagene. |
| 2. Utvide tunneltverrsnittet over vannlinjen | Ved en utvidelse av tverrsnittet over vannlinjen (for å skape en hylle) vil gangbanen kunne støpes oppå denne. Dette vil gi en enklere konstruksjon som ikke er avhengig av søyler som er forankret under vannflaten. Dette vil også mest sannsynlig innebære mindre vedlikehold og færre skader på konstruksjon. |
| 3. Redusert tunneltverrsnitt i vannlinjen | Et alternativ til å øke tverrsnittet over vannlinjen, vil være å redusere tverrsnittet under. Dette vil gi de samme mulighetene som for reduksjonsforslag 2. Det kan også tenkes at en kombinasjon av disse 2 forslagene, altså en økning over vannlinjen kombinert med en reduksjon under vannlinjen, vil være en mulig løsning. |
| 4. Støttesystem med skråstag | En alternativ løsning vil være å bytte ut søylekonstruksjonene med en løsning basert på støtte med skråstag forankret i berget. Denne løsningen vil også kunne kombineres med løsning 2 og 3, der en eventuell hylle ikke er bred nok til å støpe hele gangbanen på denne. |
| 5. Flytende ledekonstruksjoner | Gangbanene kan etableres på flytende konstruksjoner som er festet i bergveggen med et system som lar konstruksjonen bevege seg med vannet. |
| 6. Dimensjonere for lavere støtkrefter | Dagens løsning er dimensjonert for skipsstøt fra MS Midnatsol ved 5 knop og en støtvinkel på 3,5 grader. Konstruksjonen kan forenkles ved å dimensjoneres for lavere støtkrefter, som vil føre til at det må aksepteres større skade på konstruksjonen om et slik støt skulle oppstå. |

Basert på innledende analyser ble det besluttet å se nærmere på en variant av forslag 2 med følgende utgangspunkt:

- Sprenger ut et større tverrsnitt (ca. 2m i bredde på hver side)
- Ledekonstruksjonene utformes deretter som en innspent konstruksjon
- Konstruksjonen må så forbindes med fjellet på en egnet måte

2.3.3 Bergsikring

Bergsikringen i forprosjektet var basert på den tilgjengelig informasjon på analysetidspunktet, herunder kartlegging og kjerneboringen utført av NGI i år 2000, samt ytterligere undersøkelser gjennomført av Multiconsult i 2015 og 2016.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av bergsikringen:

Tabell 5. Idéutvikling bergsikring

| Idé | Beskrivelse |
|---|--|
| 1. Avklare behov for sikring | Kontrollere relevante krav til sikringen. Veitunnel, e.l. |
| 2. Oppdatere vurderinger basert på ny informasjon | Hensynta informasjon fra nye kjerneboringer i 2019 |
| 3. Utarbeide mer detaljert plan for sikring, og gjennomføringen av sikringsarbeider | Beskrive i detalj hvordan bergsikringen kan løses for å få mer sikkerhet i estimatene for omfang og kostnader. |
| 4. Vurdere om det finnes alternative metoder, ny teknologi | Undersøke om det finnes nye metoder som forprosjektet ikke vurderte som kan gi andre løsninger og kostnader. |
| 5. Justering portalgeometri | Undersøke om det ligger besparelser i å endre portalgeometrien |

Basert på avklarte krav og rammebetingelser ble det etter innledende idéfase besluttet at SINTEF skulle utarbeide følgende hovedanalyser:

- Bestemme Q-verdier empirisk og utarbeide numerisk modell basert på nye kjerneboringer
- Benytte Q-verdier og numerisk modell som grunnlag for å utarbeide og beslutte sikringskonsept, for derigjennom å bedre estimatene for bergsikring
- Undersøke potensiale for justering av portalgeometri

2.3.4 Gjennomføringsstrategi (tunneldriften)

De overordnede forutsetningene for gjennomføringsstrategien (tunneldriften) er som nevnt tidligere tunnelens dimensjonering. I forprosjektet ble det forutsatt at MS Midnattssol og skip av tilsvarende størrelse skulle være dimensjonerende for tunneltversnittet. Det ga følgende dimensjoner:

Tabell 6. Tunneldimensjoner

| Tunneldimensjoner | Meter |
|---|----------------------|
| Bredde | |
| Mellom tunnelvegger | 36,0 |
| Mellom fendre i tunnelen | 26,5 |
| Bredde dimensjonerende skip | 21,5 |
| Høyde | |
| Fra bunn av tunnel til tunnel heng | 50,0 |
| Ved høyeste høyvann til tunnel heng | 35,5 |
| Ved høyeste høyvann til tunnel heng 10 m fra senter | 32,5 |
| Seilingshøyde | 33,0 |
| Dybde | |
| Ved laveste lavvann til bunn av tunnel | 12,0 |
| Dypeste dimensjonerende skip | 8,0 |
| Tversnitt | 1 661 m ² |
| Lengde | 1 700 m |

Følgende idéer ble lansert for mer effektiv gjennomføringsstrategi (tunneldriften):

Tabell 7. Idéutvikling gjennomføringsstrategi (tunneldriften)

| Idé | Beskrivelse |
|---|--|
| <p>1. Arbeidstunnel parallelt med skipstunnelen for massetransport</p> | <p>Det kan etableres en arbeidstunnel med stort nok tverrsnitt for massetransport med dumpere parallelt med skipstunnelen.</p> <p>Dette vil kunne gjøre det mulig å frakte ut masser fra flere nivåer samtidig, og gjøre uttransporten mer effektiv.</p> <p>Tunnelen kan benyttes som service- og rømningstunnel i tunnelens driftsfase. Denne tunnelen vil også ha tilstrekkelig tverrsnitt til å kunne oppgraderes til veitunnel om det er ønskelig.</p> |
| <p>2. Arbeidstunnel parallelt med skipstunnelen for adkomst</p> | <p>Det kan etableres en arbeidstunnel med mindre tverrsnitt, som tillater adkomst for borerigg og mannskaper til de ulike nivåene som skal drives.</p> <p>Dette vil tillate maksimal utnyttelse av skipstunnelens tverrsnitt til mest mulig effektiv massetransport, uten å måtte hensynta adkomst for borerigg og mannskaper.</p> <p>Tunnelen kan også benyttes som service- og rømningstunnel i tunnelens driftsfase.</p> |
| <p>3. Arbeidstunnel parallelt med skipstunnelen på begge sider</p> | <p>Det kan etableres to arbeidstunneler parallelt med skipstunnelen. Dette kan muliggjøre effektiv transport av masser og utstyr i begge retninger.</p> <p>Tunnelene kan benyttes som servicetunnel i tunnelens driftsfase. Disse tunnelene vil også være egnet som veitunneler for trafikk i hver sin retning. I tillegg vil de kunne benyttes som ekstra rømningstunneler, hvis man ønsker å styrke sikkerheten i tunnelen.</p> |
| <p>4. Redusere tverrsnitt</p> | <p>Ved å redusere tverrsnittet til tunnelen vil mengden masser som skal tas ut reduseres tilsvarende.</p> <p>Dette vil dog innebære at MS Midnattssol og skip av tilsvarende størrelse ikke lenger vil kunne benytte tunnelen</p> |

I arbeidet med på finne nye løsninger for kostnadsreduksjon knyttet til driving av tunnelen ble det først avholdt et innledende møte for å diskutere hovedpremissene for hele prosjektet. Et resultat av dette møtet ble en beslutning om å holde fast ved dimensjoneringskriteriene for tunnelen. Dette innebærer at idé nummer 4 ikke var aktuell for videreføring.

Andre måter å redusere kostnader uten å redusere tverrsnitt knytter seg til gjennomføringen av tunneldriften. Siden tunnelens tverrsnitt er så stort som det er ble palldrift antatt å være den driftsmetoden med størst potensiale. Dette innebærer å finne et driftsopplegg som legger til rette for mest mulig effektivt uttak av masser. Ettersom det er antatt at flaskehalsen ved palldrift vil være

massetransporten har fokuset ligget på å finne et opplegg som muliggjør en mest mulig effektiv transport av masser.

Det er antatt at alle de tre alternative idéene med å anlegge en eller flere arbeidstunneler parallelt med skipstunnelen vil kunne gi tilstrekkelig gode muligheter for massetransport. Det ble besluttet å gå videre med alternativet som gir lavest mulig kostnader knyttet til en slik arbeidstunnel. Det ble derfor besluttet at Concreto skulle se nærmere på et driftsopplegg basert på idé nummer 2 for å undersøke dette potensiale. Dette innebærer en arbeidstunnel som gir adkomst for tunnelrigger og mannskaper med minst mulig tverrsnittareal.

2.3.5 Massehåndtering (uttransport og deponering av masser)

I forprosjektet ble det lagt til massetransport hvor transporten skjer med lekter fra tunnelmunningen. Deler av masser ble antatt å fraktes til formål med samfunnsmessig nytte, hvilket innebar en økt transportavstand (og kostnad). Resterende masser ble planlagt deponert i regulert sjødeponi.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av vann- og frostsikringen:

Tabell 8. Idéutvikling massehåndtering

| 1. Sjødeponi | Frakte alle masser til sjødeponi |
|-----------------------|--|
| 2. Utfyllinger | Fylle ut større områder ved portalområdene (eksempelvis som bruk til rigg i anleggsperioden) |
| 3. Berstad | Frakte masser med dumpere til Berstad. Berstad er et område i Moldefjorden rett ved siden av den planlagte tunnelen hvor det finnes et privat initiativ for å benytte tunnelmassene til næringsformål. |
| 4. Midlertidig deponi | Større midlertidig deponi for fremtidige veiprojekter |

Gjennom innledende diskusjoner ble det besluttet å se nærmere de tre første idéene; sjødeponi, utfyllinger og Berstad-alternativet. Det forelå ingen informasjon på analysetidspunktet om konkrete fremtidige veiprojekter som kunne vurderes innenfor tidsrammen av denne analysen.

2.3.6 Vegbru over Moldefjorden

I forprosjektet ble det planlagt at fylkesvei 618 skal krysse tunnelens innløp i Moldefjorden vha. en vegbru, se Figur 4.



Figur 4. Illustrasjon av vegbrua i forprosjektet.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av vegbrua over Moldefjorden:

Tabell 9. Idéutvikling vegbru over Moldefjorden.

| 1. Tunnel-løsning | Kan fylkesveien legges i tunnel istedenfor bro? |
|-----------------------------|---|
| 2. Bru uten overbygg | Kan en forenklet bru uten overbygg, men med alternativ rassikring være en kostnadsbesparende løsning? |

Gjennom innledende diskusjoner ble tunnel-løsningen vurdert til etter all sannsynlighet å være både dyrere og mer komplisert løsning enn forprosjektets vegbru. Det ble derfor besluttet kun å gjennomføre detaljerte analyser for forslaget om en forenklet vegbru uten overbygg. Vurderinger knyttet til denne løsningen følger i analysekapittelet.

2.3.7 Vann- og frostsikring

I forprosjektet ble det lagt til grunn at vann- og frostsikring skal gjennomføres etter hvert som behovet dukker opp under gjennomføringen av prosjektet. Det er i etterkant av forprosjektet gjennomført målinger av temperaturer ved de planlagte tunnelåpningene vinterstid for å bedre kunne anslå sikringsmengden.

Mengde sikring ble i forprosjektet anslått til å utgjøre 16 500 m², tilsvarende 250 m av tunnelens lengde. I KS2-rapporten ble det lagt inn en høy estimatusikkerhet for dette omfanget. Ved å oppdatere vann- og frostsikringskonseptet etter værmålingene vil man få større trygghet for både omfang og løsningsvalg slik at estimatusikkerheten kan reduseres.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av vann- og frostsikringen:

Tabell 10. Idéutvikling vann- og frostsikring

| Idé | Beskrivelse |
|-----|-------------|
| | |

| | |
|--|--|
| <p>1. Avklare behov for sikring</p> | <p>Oppdatere vurderinger av sannsynlighet for frost med informasjon fra målingene vinteren 2017/2018.</p> <p>Avklare toleranse for størrelse/omfang på is-nedfall. Risiko vil aldri bli lik null.</p> |
| <p>2. Tette tunnel som del av tunnelsikring</p> | <p>Det bør vurderes løsninger for å få tilstrekkelig tett tunnel ved tiltak som kan kombineres med sikringsarbeidet i tunnelen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eksempler kan være ulike variasjoner av tilsetninger i sprøytebetong |
| <p>3. Mekanisk avisning</p> | <p>Ikke gjennomføre noen spesielle tiltak for preventiv forstsikring, men gjennomføre mekanisk fjerning av is når den først oppstår.</p> |
| <p>4. Avrenning</p> | <p>Finne løsninger som sørger for avrenning av vann fra tunnelheng før det fryser.</p> |
| <p>5. Is-sikringsnett</p> | <p>Benytte is-sikringsnett også i heng for å oppnå lavere enhetskostnader for sikring.</p> |

I tillegg til å ta hensyn til værmålingene ble SINTEF gitt i oppgave å analysere resultatene fra kjerneborhullene og konsekvensene de har for valg av vann- og frostsikringskonsept.

2.3.8 Brann, rømning og ventilasjon

I forprosjektet ble det lagt til grunn at selvberging og naturlig ventilasjon var styrende prinsipper for brann, rømning og ventilasjonskonseptene. I KS2-rapporten ble det anbefalt at brann- og rømningskonseptet ble videreutviklet til å beskrive konsekvenser av redningskonsept også fartøy som er mindre enn dimensjonerende fartøy.

Følgende idéer ble lansert for videreutvikling av brann-, rømning og ventilasjonskonseptet:

Tabell 11. Idéutvikling brann, rømning og ventilasjon

| | |
|---|---|
| | |
| <p>1. Tydeligere dokumentering</p> | <p>Tydeliggjør gjennom eksisterende og oppdatert dokumentasjon at:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Selvberging ligger til grunn • Selvberging gir tilfredsstillende sikkerhet • Naturlig ventilasjon ligger til grunn • Naturlig ventilasjon gir tilfredsstillende sikkerhet |
| <p>2. Hensynta oppdatert informasjon</p> | <p>Avstemme ventilasjonskonseptet mot vind- og temperaturmålingene ved tunnelåpningene.</p> |

Det ble besluttet å avstemme ventilasjonskonseptet mot vind- og temperaturmålingene ved tunnelåpningene.

2.4 Analysefase

Denne fasen har som mål å komme frem til hvilke ideer fra idéfasen som gir de største potensielle forbedringene, samt å evaluere gjennomførbarheten av disse. Dette vil nødvendigvis også innebære en noe videreutvikling av de enkelte ideene.

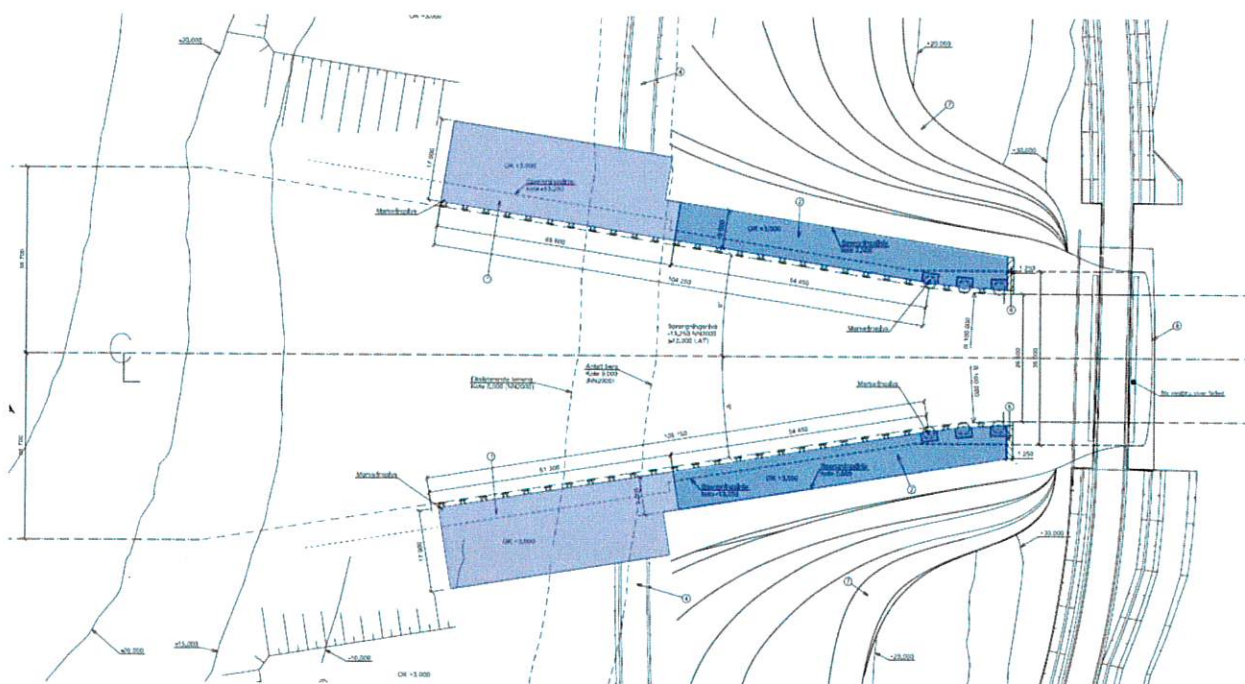
2.4.1 Entringskonstruksjoner

Ny løsning

Dr. Techn. Olav Olsen har på oppdrag for Kystverket utarbeidet en ny løsning for entringskonstruksjonene. Den nye løsningen innebærer reduserte entringskonstruksjoner på begge sider av tunnelen. Det er kun konstruksjoner under vann som er endret, mens dybde og breddeforhold i farleden er beholdt. Innseilingen har dermed samme sikkerhetsnivå som tidligere. Den reduserte lengden vil gi besparelser på pelearbeider, betongarbeider og fending.

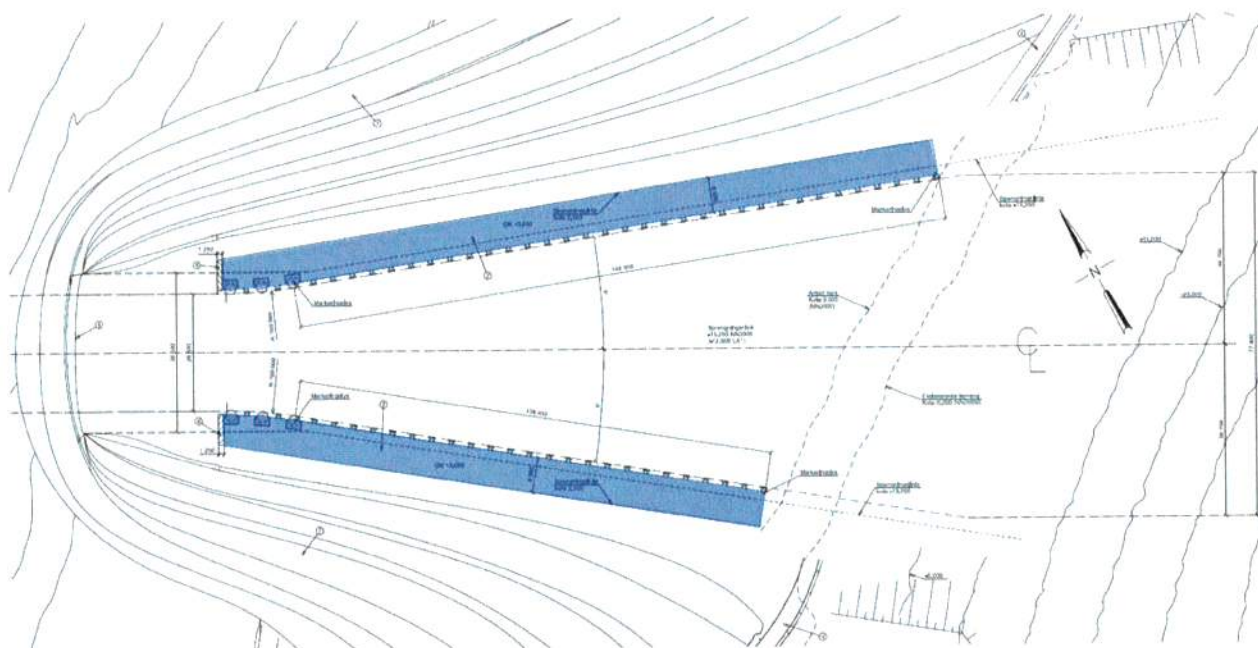
De ytterste delene av entringene vil bli markert med lys slik at overgang mellom normal farledsbredde og smalere entring til tunnelen blir ivarettatt. Bredde mellom entringssender er satt til normal farledsbredde uten ekstra bredde for klaring av grunne på hver side av farleden pga. fending.

I forprosjektet var det lagt til grunn en rettlengde med fending satt til 150 m i Moldefjorden, mens det i denne fasen er antatt at 2/3 av denne lengden (100 m) er tilstrekkelig for å entre tunnelen. Den reduserte løsningen i Moldefjorden er vist i Figur 5, hvor lilla skravur antyder pelekai mens blå skravur indikerer kaiplate direkte på berg.



Figur 5. Reduserte entringskonstruksjoner, Moldefjorden.

I Kjødepollen er nordsiden av farleden satt til 150 m, mens den på sørsiden er satt til 110 m. Faste lys markerer hjørne på kaiplate og knekkpunkt ved påhugg. Den reduserte løsningen i Kjødepollen er vist i Figur 6, hvor blå skravur indikerer kaiplate direkte på berg.



Figur 6. Reduserte entringskonstruksjoner, Kjødepollen.

I tillegg til de geometriske endringene av entringskonstruksjonene er det sett på å endre konstruksjonene fra energiabsorberende friksjonskasser til faste konstruksjoner direkte forankret til berg. En slik løsning vil gi besparelser, men også en redusert sikkerhet for de største støtene. Faste konstruksjoner vil samtidig gi redusert uttak av berg i forbindelse med fjellhyller i indre del av entringer.

Andre analyserte alternativer

Som et ledd i analysen ble det også undersøkt hvorvidt bruk av cellespunt i de ytre entringskonstruksjonene i Moldefjorden (lilla skravur i Figur 5) ville redusert behovet for pelearbeider. Som følge av liten løsmassemekktighet og relativt liten andel av konstruksjonen som kan bygges med cellespunt forventes det ikke at bruk av spunt vil gi ytterligere reduksjon av kostnadene. I tillegg vil overgangen mellom cellespunt og kaiplate direkte på fjell gi behov for noe pelekai som følge av at cellespunken ikke kan føres helt til rensket berg.

Simuleringsforsøk

På bakgrunn av den nye løsningen for entringskonstruksjonene er det i april 2019 gjennomført simuleringsforsøk for innseiling i Stad skipstunnel ved FORCE Technology i København. Simuleringsforsøkene er gjort under varierende værforhold og ved bruk av tre skipstyper; MS Midnatsol og to typer containerfartøy av ulik størrelse. Innseilingene ble gjennomført av losere og nautikere fra Kystverket, og totalt ble det gjennomført 65 simuleringsforsøk.

Forsøkene viste ingen vesentlige utfordringer ved innseiling, og tilbakemeldingen fra testdeltakerne var at den nye løsningen verken var kvalitativt bedre eller dårligere enn forprosjektets løsning. De to innseilingene vurderes til å ha samme vanskelighetsgrad. Den foreslåtte løsningen med lysmarkering av de ytterste konstruksjonene fungerte godt, men testdeltakerne fremmet forslag om å justere plasseringen noe.

Hindringer

Det er ikke identifisert noen hindringer for å realisere den nye løsningen for entringskonstruksjonene.

Dokumenter

Tabell 12. Dokumenter Entringskonstruksjoner

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|---|------------------------------------|
| Vedlegg 1 Videreutvikling av konsept mai 2019 | Dr. Techn. Olav Olsen (14.05.2019) |
| K111 Entringskonstruksjon Oversiktstegning Moldefjorden | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |
| K112 Entringskonstruksjon Oversiktstegning Kjødepollen | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |
| K113 Entringskonstruksjon Plan og lengdesnitt | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |
| K114 Entringskonstruksjon Snitt og detaljer | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |
| Vedlegg 2 Report Stad Tunnel (draft) | FORCE Technology (27.05.2019) |
| Appendix B Trackplot Stad 2019 | FORCE Technology (april 2019) |
| Mathematical Ship Model 3820 MS Midnatsol | FORCE Technology (25.05.2016) |
| Mathematical Ship Model 3643 Guldborg | FORCE Technology (02.01.2012) |
| Mathematical Ship Model 3049 Container Vessel | FORCE Technology (20.04.2009) |

2.4.2 Ledekonstruksjoner

Ny løsning

Dr. Techn. Olav Olsen har på oppdrag for Kystverket vurdert mulighetene for et nytt konsept for ledetekonstruksjonene. Den foreslåtte løsningen med utkraging ble også vurdert i forprosjektet, og det er heller ikke nå funnet holdepunkter for at en slik løsning vil innebære bedre konstruksjoner eller kostnadsbesparelser. Forprosjektets løsning for ledetekonstruksjonen anses fortsatt for å være det beste alternativet basert på kostnader, fremdrift og robusthet.

Monteringsprinsipp

Med en samlet lengde på ledetekonstruksjonen på over 3 km er det ansett som uhensiktsmessige med tanke på kostnader og fremdrift å plasstøpe konstruksjonen. I forprosjektet ble det lagt til grunn at betongelementer produseres på stedet, for så å transporteres inn i tørrlagt tunnel og monteres. Et

alternativ kan være å kun montere søylene for deretter å støpe fjellkonsoller i tørr tunnel. Elementer kan senere seiles inn og løftes på plass med et kranfartøy (lekter med fast svingkran).

Velges denne metoden kan elementer produseres hvor som helst og transporteres sjøvegen helt inn i tunnelen uten omlasting.

Hindringer

Det er ikke identifisert noen hindringer for å realisere denne løsningen for ledekonstruksjonene.

Dokumenter

Tabell 13. Dokumenter Ledekonstruksjoner

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|---|------------------------------------|
| Vedlegg 1 Videreutvikling av konsept mai 2019 | Dr. Techn. Olav Olsen (14.05.2019) |

2.4.3 Bergsikring

Grunnboringer og bergsikringstiltak

Tunnel vil kunne sikres med helt ordinære bergsikringstiltak. Dette er typisk tiltak som bolter og sprøytebetong. Mengdene er tatt ut ifra Q-systemet med basis i de kartlagte kjernene fra grunnboringene.

Totalt er det utført kjerneboringer over en lengde som tilsvarer ca. 45 % av lengden på planlagt Stad skipstunnel. Kjernene er blitt kartlagt av Multiconsult med hensyn på blant annet flere av Q-systemets parametere. SINTEF har benyttet dette grunnlaget og lagt inn de parameterne som Multiconsult ikke hadde i sin kartlegging, nemlig J_w/SRF , og bestemt disse ut ifra lekkasjemålinger i kjerneborhullene samt bestemt SRF ut fra observasjoner av vann i kjernehullene.

Isolert sett, på Kjødipollen så viser kjernene at rett i underkant av 40% av tunnelens lengde vil bli drevet i bergmassekvalitet som tilsvarer 'Meget bra bergmassekvalitet' eller bedre, tilsvarende en Q-verdi større enn 40. Snaut 60 % av tunnelens lengde er antatt å bli drevet i bergmassekvalitet som tilsier 'Bra bergmassekvalitet' eller $10 < Q < 40$, og noen få prosent av tunnels lengde er forventet å drives i dårligere bergmassekvalitet enn 'Bra bergmassekvalitet', det vil si $Q < 10$. Fra oppstarten av kjerneborhullet og ca. 20 meter innover øker Q-verdien jevnt og når 'Bra bergmassekvalitet'.

Likeledes er det fra Moldefjorden kartlagt kjerner som gir 49 % av kjernehullet en Q-verdi som er lik eller større enn 40 tilsvarende 'Meget bra bergmassekvalitet', 49 % faller innenfor $10 < Q < 40$ som er 'Bra bergmassekvalitet' mens kun et par prosent er av dårligere bergmassekvalitet enn dette. Fra Moldefjorden og i de første 50 meterne innover i hullet veksler Q-verdiene fra 3 til 70, med andre ord vekslende bergforhold.

Metodebegrensninger

Q-verdier logget i kjerneborehull representerer ikke alltid situasjonen man har når et fullt tunnelprofil skal tas ut, i tilfellet Stad Skipstunnel er tunnelprofilen stort, det skiller 50 meter i høyden fra såle til heng og nesten 40 meter fra vegg til vegg. Det vil kunne være færre svakheter som fanges

opp av et kjerneborhull enn det antallet som kan opptre i et slikt fullskala tunnelprofil, og man kan risikere en underestimert av antall sprekker og sprekkesystem, noe som kan gi for gunstige verdier for RQD og Jn.

Fordelen med det retningsstyrte kjerneborhullet for Stadttunnelen er at det er boret langs tunnelens trasé og har vært fiksert så godt det lar seg gjøre til toppen av tunnelen og langs senterlinjen. Vår oppfatning er derfor at kjerneboringen representerer på en rimelig god måte de forholdene som tunnelen vil komme til å møte, men størrelsesfaktoren er et element som må vurderes ved bruk av dataene.

Konsept for bergsikring

Det legges til grunn et konsept der man gjennomgående sikrer tunnelhenget med sprøytebetong og bolter. Når det gjelder tykkelsen av sprøytebetong så benytter vi anbefalingene til Statens vegvesen knyttet til tykkelse og type for bruk i undersjøiske vegtunneler der miljøet i tunnelen er salt og korroderende som følge av havvannet i tunnelen (selv om lekkasjevann i Stadttunnelen vil være ferskvann).

Det benyttes minimum 90 mm tykk sprøytebetong, kvaliteten skal være av fasthetsklasse B35 og bestandighetsklasse M40. Sikringsbolter skal varmforsinkes og pulverlakeres med epoxy i henhold til Statens vegvesens krav til korrosjonsbeskyttelse. Derfor er det benyttet gjennomgående 90mm i hele hengflaten, og et boltemønster tilsvarende minst 2x2 meter, og lokalt tettere. Med det store tunnelprofilen som skal bygges vil spenningspåvirkningen nå dypt slik at lange bolter bør fortrinnsvis benyttes, og da legges det opp til gjennomgående 6 meter lange bolter både i heng og vegger.

Det blir store veggflater som må sikres spesielt for å ivareta stabiliteten av potensielle kileutglidninger som kan få store dimensjoner når veggene er så høye som i Stadttunnelen. Før man starter strossingen av hver av pallene under taksiva må det gjøres en grundig analyse av potensialet for kileutglidning i veggflatene basert på den geologiske kartleggingen gjennomført først under drivingen av taksiva, deretter i påfølgende strossenivåer. Sikring av potensielle kiler må påbegynnes høyt oppe i veggene for å kunne sikre disse tilfredsstillende. Det er ikke lagt til grunn systematisk sikring av veggflatene, med hverken bolter eller sprøytebetong, men en viss mengde er lagt med dedikert sikring av kiler. Det er ikke lagt til grunn sikring av veggene under vannstands nivået i tunnelen, kun for å håndtere eventuelle utgående av kiler.

Bergsikringsmengder

Basert på grunnboringene og konseptet for bergsikring beskrevet over har SINTEF gjort et tripplestimat for bergsikringsmengder i Stadttunnelen:

Tabell 14. Bergsikringsmengder

| Type | Beste fall | Sannsynlig | Verste fall |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Bolter L=6m Ø=25mm | 21 465 stk | 31 493 stk | 36 929 stk |
| Sprøytebetong fiberarmert | 10 450 m ³ | 13 750 m ³ | 15 119 m ³ |
| Anker L = 10 m | 0 stk | 500 stk | 1 000 stk |

| | | | |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Anker L = 15 m | 0 stk | 500 stk | 1 000 stk |
| Forbolter | 560 stk | 1 120 stk | 1 680 stk |
| Buer | 30 stk | 30 stk | 60 stk |
| Armeringsjern | 26 000 kg | 26 000 kg | 52 000 kg |

Dette er en betydelig reduksjon sammenlignet med mengdene som ble lagt til grunn i forprosjektet.

Tabell 15. Endring fra forventet mengde forprosjekt

| Type | Forprosjekt | Endring |
|---------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Bolter L=6m Ø=25mm | 32 050 stk | - 557 stk |
| Sprøytebetong fiberarmert | 27 520 m ³ | - 13 770 m ³ |
| Anker L = 10 m | 2 850 stk | - 2 350 stk |
| Anker L = 15 m | 5 900 stk | - 5 400 sk |
| Forbolter | 3 200 stk | - 2 080 stk |
| Buer | 30 stk | Ingen endring |
| Armeringsjern | 69 750 kg | - 43 750 kg |

Justering av portalgeometrien

SINTEF har også vurdert om det er mulig å kunne bygge tunnelen med en portal der selve skjæringshøyden er redusert og geometrien for påhugget er endret for å gi en reduksjon i sprengningsarbeidene for å etablere påhugget. Dette for å evaluere om det er potensial for å oppnå besparelser ved påhuggsutformingen.

For SINTEF sin vurdering er det blitt benyttet en skjæringsflate som er 10 meter høy målt fra hengt i senterlinjen i tunnelen og opp til bakkenivå. Dette utgjør halvparten av den høyden som lå inne i tidligere versjoner av utformingen av portalområdet. SINTEF har gjort en numerisk modellering av situasjonen med 10 meter overdekning over tunnelen, og selv om ikke bergmassen er den absolutte beste i påhuggene er dette en mulig løsning. Ved å gå med en slik redusert høyde i påhugget så vil tunnelen etableres tidligere og derved bli noe lenger som en konsekvens. SINTEF har dokumentert løsningen med redusert overdekning i påhugget ved en egen rapport som beskriver den numeriske modelleringen som er gjort her.

Videre er det gjort en vurdering av muligheten for å redusere antall paller i påhuggene, og samtidig gjøre pallene brattere og høyere. Dette vil også medføre en besparelse av omfanget av sprengning. Totalt vil dette tiltaket alene utgjøre 27% prosent reduksjon i volumuttaket i forhold til den opprinnelige planen. Det vil medføre at påhugget blir smalere og trangere og får en annen visuell utforming enn det opprinnelige påhugget har. SINTEFs forslag er ikke tegnet ut i detalj på samme måte som det som foreligger i forprosjektet, så en optimalisering av påhuggsområdene må tegnes ut

i detalj. Det vil kunne gi besparelser for prosjektet, men det visuelle inntrykket blir annerledes med et betydelig mer begrenset påhugg.

Siden tiltaket ikke er på samme nivå som forprosjektet er det besluttet ikke å realisere besparelsen på det nåværende tidspunktet, men å sette det på prosjektets kuttliste. Slik vil prosjektets kostnadsbase også ha noe reduksjonspotensiale slik at usikkerhetsbildet er noe mer balansert.

SINTEF har dokumentert sitt forslag i form av et notat som beskriver både den numeriske modelleringen og utformingen av pallhøyder og pallvinkler. Dette notatet vil kunne danne grunnlaget for en videre detaljering skulle det være aktuelt å realisere kuttet.

Dokumenter

Tabell 16. Dokumenter Bergsikring

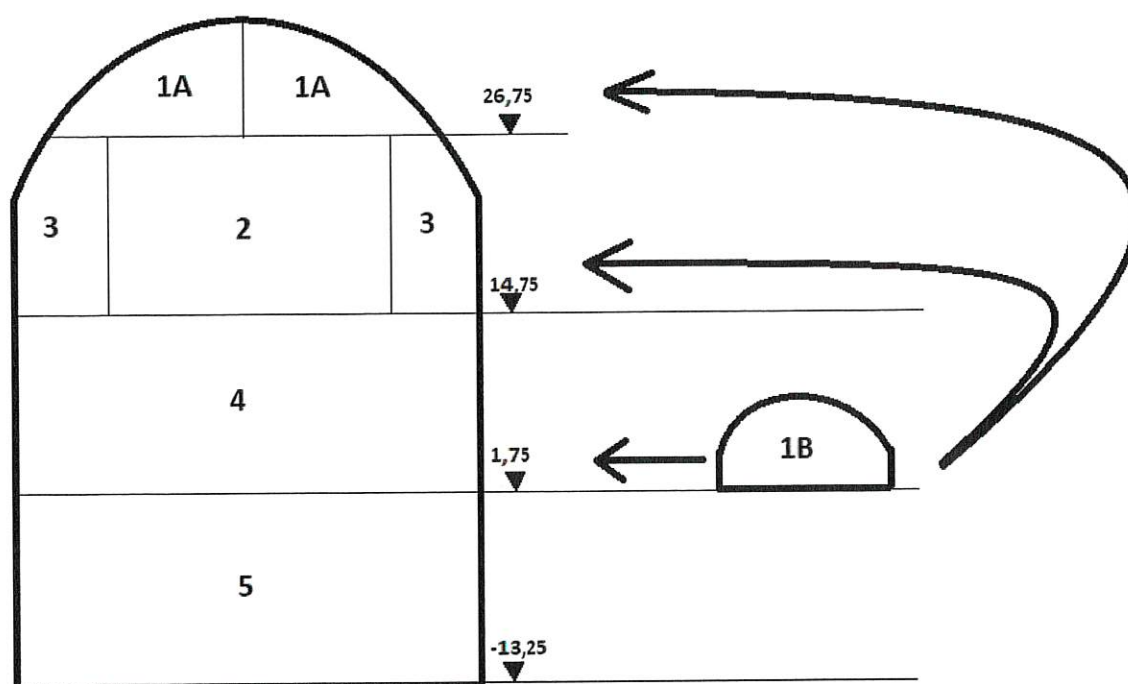
| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|--|-----------------------------------|
| SINTEF-rapport Bergsikring Stad skipstunnel | SINTEF (juni 2019) |
| Sluttrapport Moldefjorden og Kjødepollen | Diamant Wire Teknikk (27.05.2019) |
| Boring og logging av borkjerner, inkl. vedlegg A-F | Multiconsult (05.06.2019) |

2.4.4 Gjennomføringsstrategi (tunneldrift)

Concreto har på oppdrag fra Kystverket utarbeidet et nytt forslag for drivingen av tunnelen, se *Vedlegg 3 Revidert forslag til tunneldrift*. Det oppdaterte driftsopplegget innebærer endringer både i inndelingen av drivesekvenser, men også endringer med tanke på adkomst og massetransport.

Bakgrunnen for det nye konseptet er ideen om at effektiv massetransport er nøkkelen til et vellykket driftskonsept for et så stort tunneltverrsnitt. Tverrsnitt av denne størrelsen vil i praksis kunne defineres som driving av en fjellhall, og med et vellykket driftsopplegg vil også kostnadene per m³ reflektere dette.

Den nye foreslåtte inndelingen av drivesekvenser kan illustreres som følger:

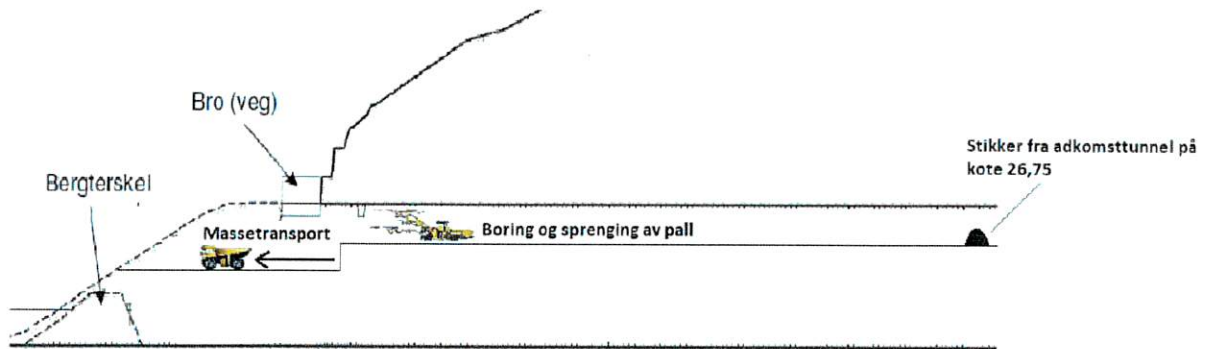


Figur 7 Revidert driftssekvens for tunnelversnittet

I likhet med sekvensene i forprosjektet er også denne profilen i hovedsak forutsatt drevet med palldrift. Drivesekvensene har følgende inndelinger:

1. Drive de 10 øverste meterne av tverrsnittet, samt drive adkomsttunnel parallelt med skipstunnelen.
 - A. **Toppstoll:** De øverste 10 meter vil ha en bredde på totalt ca. 32 meter og må drives i to omganger.
 - B. Adkomsttunnelen vil ha et tverrsnitt på enten 40 m² eller 66 m², avhengig av om den skal benyttes som veitunnel eller kun være service-/rømningstunnel i fremtiden.
2. **Smal Pall:** Palldrift i senter av bergrommet med en pallhøyde på 12 meter og en bredde på ca. 25 meter
3. **Strosser:** Sidestrosser på hver side av pallen i punkt 2. Det vil være omtrent 5 meter på hver side og høyde på 12 meter.
4. **Pall:** Palldrift i hele tunnelbredden, 36 meter, med en pallhøyde på 13
5. **Pall:** Palldrift i hele tunnelbredden, 36 meter, med en pallhøyde på 15 meter

Den viktigste endringen i forutsetningene er adkomsttunnelen markert som 1B i Figur 7. **Feil! Fant ikke referanseilden..** Denne tunnelen drives for å sikre adkomst for tunnelrigg og mannskap, slik at hovedtverrsnittet kan benyttes i sin helhet for mest mulig effektiv uttransport av masser.



Figur 8: Prinsippkisse for drift av tunnel

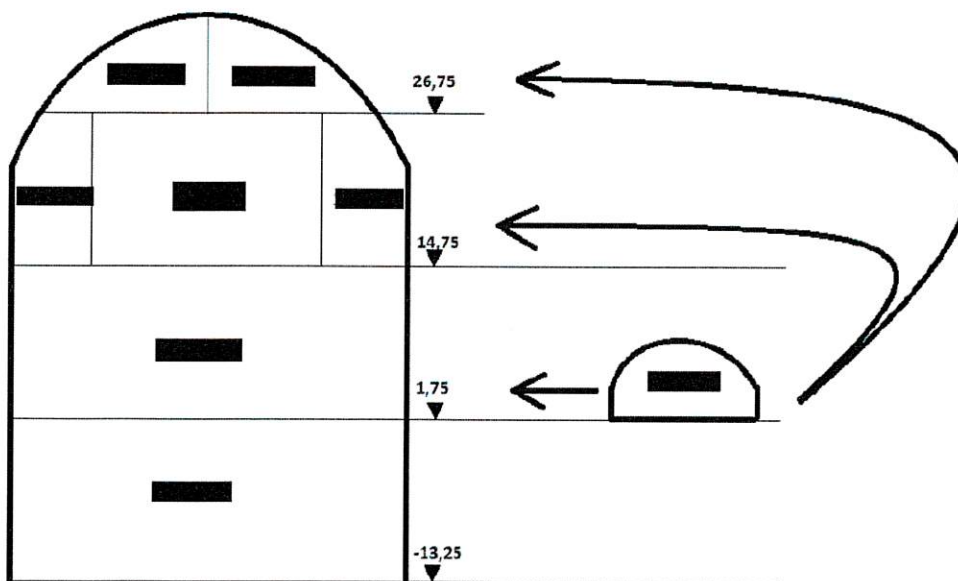
Ved å gjennomføre drivingen slik det er beskrevet ovenfor vil adkomsttunnelen i tillegg kunne brukes enten som rømning- og servicetunnel og/eller som veitunnel.

Driftsopplegget for hovedtunnelen gir følgende fordeling av masseuttak fra hovedtunnel fordelt på toppstoll-, stross- og palldrift:

Tabell 17. Fordeling masseuttak

| | |
|-----------------|------|
| Andel toppstoll | 14 % |
| Andel strossing | 7 % |
| Andel smal pall | 18 % |
| Andel bred pall | 61 % |

Enhetsprisene for sprenging basert på Concreto sine erfaringer fra andre prosjekter er som følger:



Figur 9. Enhetspriser tunneldrift

Dette gir en gjennomsnittlig enhetspris for sprenging av massene på i underkant av ■ kr/m³. Dette er enhetspriser som forutsetter rigg og drift på 30 %. For en nærmere beskrivelse av de ulike enhetsprisene vises det til *Vedlegg 3 Revidert forslag til tunneldrift*.

Enhetsprisene for adkomsttunnelen, 1B, på ■ kr/m³ inkluderer alle arbeider knyttet til denne tunnelen, men ikke rigg og drift. Det vil si at tunnel 1B vil være fullt brukbar som arbeids-, service- og rømningstunnel for denne prisen. Om tunnelen skal benyttes til veitunnel i ettertid vil dette kreve oppgraderinger, men det vil ikke bli medregnet i dette prosjektet. For tunneler og toppstoll er bruk av elektroniske tennere hensyntatt i enhetsprisene. For den resterende sprengingen vil ikke krav til elektroniske tennere ha noen innvirkning på enhetsprisene.

Ved valg av 40 m² adkomsttunnel vil mengder og kostnader knyttet til adkomsttunnelen med avstikkere til de ulike nivåene bli som følger:

Tabell 18. Kostnad adkomst- og servicetunnel

| Adkomst-/Servicetunnel 40 m ² | Lengde [m] | Masser [m ³] |
|--|------------|--------------------------|
| Tunnel med 40 m ² tverrsnitt | 2 068 | 82 712 |
| Sum mengder | 2 068 | 82 712 |
| Sum kostnad [MNOK] | | ■ |

De nye enhetsprisene for drivingen av tunnelen og kostnaden for servicetunnelen legges til grunn for det oppdaterte kostnadsestimat for Stad Skipstunnel. Ved eventuell bruk av tunnelen til rømning og/eller veitunnel vil man få enkelte tilleggskostnader. Disse medtas ikke i basisestimatet da de anses som tilleggsfunksjoner til det nåværende konseptet. Som referanseramme er kostnadene likevel beskrevet i de to påfølgende avsnittene.

Om adkomsttunnelen skal benyttes til rømning vil det være aktuelt å tilføye flere avstikkere for å tillate evakuering. Hver av disse rømningstunnelene vil være 25 meter lange. Om det legges til grunn at disse også skal ha et tverrsnitt på 40 m² og vi legger de med 150 meters mellomrom med første og siste ca. 150 meter fra tunnelmunningen vil det gi behov for ytterligere 10 tunneler av 25 meter. Disse tunnelene vil ha en enhetskostnad på ca. ■ basert på enhetsprisen på ■ totalt 5 000 000 kr for rømningsvei per ca. 150 meter gjennom hele tunnelen.

Om det er ønskelig å kunne benytte adkomsttunnelen som veitunnel for å erstatte dagens fylkesvei over fjellet, vil dette medføre et behov for å drive et større tverrsnitt. En økning i tverrsnitt for adkomsttunnelen fra 40 m² til 66 m² vil medføre en økt kostnad på i overkant av 20 MNOK. Det legges til grunn at bruk av adkomsttunnelen som vegtunnel krever en overordnet beslutning om å inkludere dette i Stad skipstunnel-prosjektet, slik at man i utgangspunktet kun baserer skipstunnelkostnaden på driving av 40 m² servicetunnel.

Tabell 19. Dokumenter gjennomføringsstrategi (tunneldrift)

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|--|-----------------------|
| Vedlegg 3 Revidert forslag til tunneldrift | Concreto (23.05.2019) |

2.4.5 Massehåndtering (uttransport og deponering av masser)

Sjødeponi

Det er i løpet av optimaliseringsprosessen blitt avklart at sjødeponiet kan ta imot alle overskuddsmassene. Siden bruk av sjødeponi både har den laveste enhetskostnad og den laveste risikoen av de fire alternativene for massehåndtering er det besluttet å benytte sjødeponi for alle massene. Kostnaden for sjødeponi utgjør dermed et tak for kostnaden for massehåndtering.

Andre analyserte alternativer

Innledende analyser viste at det må omreguleres hvis det skal benyttes større masser i utfyllingene, slik at alternativ 2 ikke er forfulgt ytterligere i analysefasen. Videre vil eventuell bruk av masser på Berstad eller andre samfunnsnyttige formål være alternativer som kan utvikles videre i detaljeringsfasen. Hvis prosjektet ønsker en annen balanse mellom kostnad og samfunnsnyttien kan begge disse undersøkes nærmere, men det legges til grunn at dette krever en beslutning fra prosjekteier eller departement ettersom usikkerheten i gjennomføringen og kostnadene på nåværende tidspunktet er større enn for sjødeponiet.

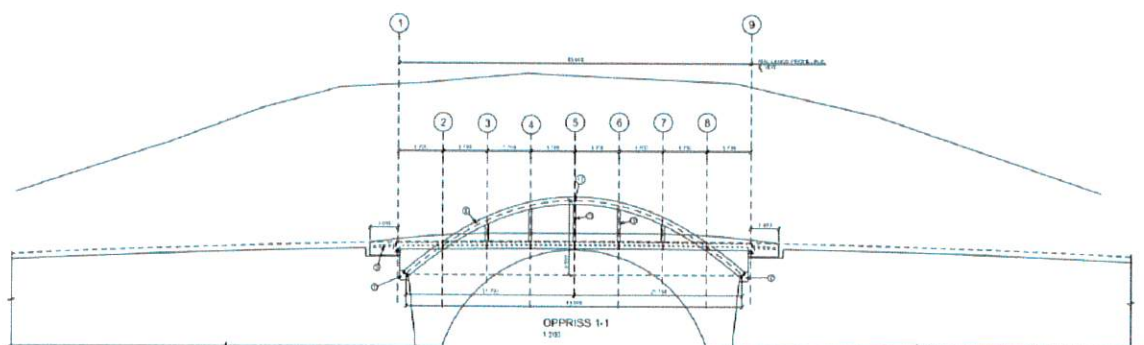
Tabell 20. Dokumenter massehåndtering

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|--|------------------------------|
| Notat om bruk av tunellmasser på Berstad | Initiativtakere (09.04.2016) |

2.4.6 Vegbru over Moldefjorden

Ny løsning

Dr. Techn Olav Olsen har på oppdrag for Kystverket utarbeidet en ny løsning for vegbrua uten overbygningen, se Figur 10.



Figur 10. Ny løsning for vegbru over Moldefjorden.

Den oppdaterte vegbrua har et redusert spenn som følge av at man har brukt skjæringene i større grad enn tidligere. Løsningen krever i midlertidig sideveis avstivning av buene som bærer brubanen. Avstivning var i forprosjektet sikret ved monolittisk forbindelse mellom overbygning og høyeste punkt på buer.

Ny løsning for vegbrua anses å ha en form som er like hensiktsmessig for montasje som forprosjektet. Overbygningen var i forprosjektet lagt inn for å dempe det visuelle uttrykket til bru og forskjæring. Den nye løsningen er derfor arkitektonisk dårligere enn forprosjektets.

Detaljert beskrivelse av løsningen kan sees i *Vedlegg 1 Videreutvikling av konsept mai 2019*. Det er også utarbeidet følgende oppdaterte tegninger som viser ny løsning for vegbrua:

Tabell 21. Dokumenter vegbru over Moldefjorden

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|---|------------------------------------|
| Vedlegg 1 Videreutvikling av konsept mai 2019 | Dr. Techn. Olav Olsen (14.05.2019) |
| K121 Bru i Moldefjorden Oversiktstegning | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |
| K122 Bru i Moldefjorden Snitt og detaljer | Dr. Techn. Olav Olsen (10.05.2019) |

Andre analyserte alternativer

Som del i utarbeidelsen av den nye løsningen ble det vurdert å senke bruen 2 m. En slik løsning anses både å blokkere sikten og hemme lufttransporten i tunnelen. Dette vil føre til dårligere lysforhold, og ha negativ påvirkning på luftstrømmene, herunder uttransport av eksos ved normal tunneldrift og ved evt. branntilløp med røykutvikling i tunnelen. En senking vil også medføre mer fjellsprenghing, skjæring og lengre tunnel, slik at et slikt alternativ ikke anses som en besparelse.

Hindringer

Det er ikke identifisert noen hindringer forbundet med ny løsning for vegbru over Moldefjorden.

2.4.7 Vann- og frostsikring

Meteorologiske målinger ved portaler 2017-2018

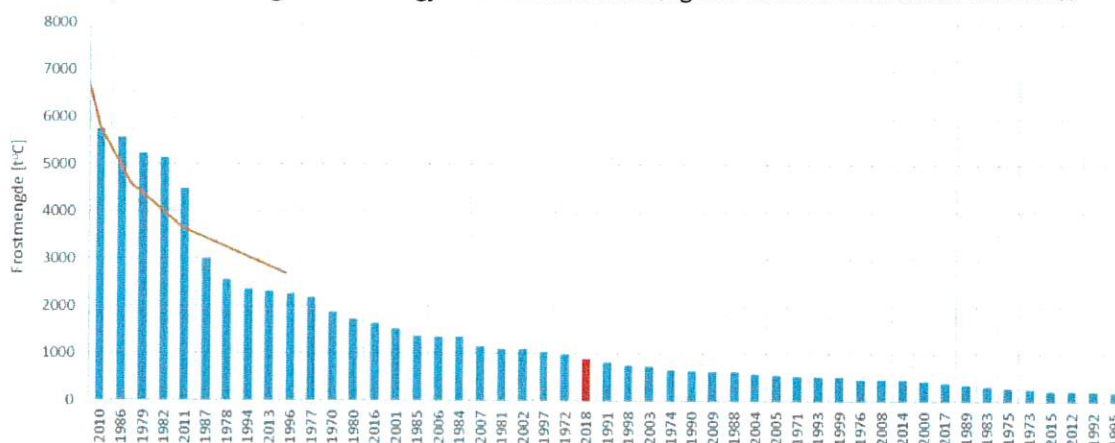
Som en del av forprosjektet ble det etablert meteorologiske målestasjoner ved posisjonene for de to framtidige portalene. Resultatene ble benyttet for å modellere naturlig ventilasjon i tunnelen og frostdannelse. Som en følge av forprosjektets varighet var kun tre måneder med data fra sommer/høst tilgjengelig for analysene.

Under arbeidet med videreutvikling og optimalisering av Stadskipstunnel har Norconsult på oppdrag for Kystverket gjennomført metrologiske målinger ved de to portalene i hhv. Moldefjorden og Kjødepollen vinteren 2017–2018.

Frostmengde

Beregningene viser at kuldeperioden i overgangen februar til mars ville ha medført at bergoverflaten inne i tunnelen ville holdt minusgrader i en sammenhengende periode på sju dager. I tillegg til denne perioden var det to perioder på mindre enn én dag hvor bergtemperaturen krøp så vidt under frysepunktet. I praksis betyr dette man ville fått oppbygging av is sju dager denne vinteren på steder der det trenger inn vann i tunnelen.

Setter man vinteren det er gjort målinger i et historisk perspektiv ser man at vinteren 2017–2018 en relativt representativ vinter, se Figur 11. Frostmengden denne vinteren ligger noe høyere enn medianen, men vesentlig lavere enn gjennomsnittet som følge av fem markant kaldere vintere.



Figur 11. Frostmengde for vintrene i perioden 1970-2018. Vinteren 2018 markert i rødt.

I Norconsults rapport er normalvinteren vurdert til å ha en frostmengde på 1500t°C, med en frostmengde F_{10} beregnet til 4000t°C. Det første tallet gir anslagsvis en periode på 12 dager hver vinter der veggtemperaturen i tunnelen er lavere enn 0°C. Statistisk vil halvparten av vintrene ha lavere frostmengde enn normalvinteren, mens for halvparten av vintrene vil perioden med frost være som dette eller større.

Med hensyn på frostmengden F_{10} så innebærer det at statistisk vil det oppstå en vinter som er kaldere enn dette én gang hvert tiende år. Det anslås at for en frostmengde lik F_{10} vil det være om lag én måned av vinteren hvor temperaturen er lavere enn 0°C, og at det derfor én gang hvert tiende år vil være veggtemperaturer lavere enn 0°C i deler av tunnelen over en periode på én til to måneder.

Dette er å anse som beskjedne frostmengder. I prosjekter der frostmengden F_{10} ligger lavere enn 3000t°C så kan uisolerte konstruksjoner normalt benyttes.

Kjerneboringer

Kjerneborhullene som ble drevet fra begge sider viste at det var lokale innlekkasjer av vann som medførte problemer for kjerneboringen og der injeksjon var påkrevet for å føre kjerneborhullet videre. Det ble også utført vanntapsmålinger i kjerneborhullene. Vanntapsmålingene viser generelt tett bergmasse med enkelte punkter med høy permeabilitet og lekkasjer.

Konsept for vann- og frostsikring

På bakgrunn av de meteorologiske og geologiske undersøkelsene som er gjort i denne fasen er det besluttet at prosjektets vann- og frostsikring skal være basert på sikring av punktlekkasjer der hvor det oppdages vanninntrengning. Det viktigste vil være å sikre overhengen i tunnelen, mens enklere løsninger kan benyttes langs tunnelveggene for å lede og drenere vann vekk ved eventuelle punktlekkasjer.

Teknisk løsning vil avklares endelig under detaljprosjekteringen, men ulike løsninger er diskutert i optimaliseringsfasen herunder dreningssystemer, membraner og kanalsystemer.

Som alternativ til konseptet i forprosjektet med PE-skum og sprøytebetong så er Giertsen Tunnelhvelv en løsning som passer godt i denne tunnelen spesifikt; med liten frostmengde og trafikk som ikke skaper nevneverdige trykk- og sugkrefter. Løsningen innebærer installasjon av Giertsen tunnelduk som et hvelv over nødvendige strekninger som identifiseres under tunneldrivingen. Ved spredte installasjoner så benyttes endetettinger slik at luften i rommet mellom hvelv og tunneloverflaten er stillestående. Vann som drypper ned på hvelvet samles opp i en renneløsning og dreneres ned til vannflaten i skipstunnelen.

På veggene installeres vannsikring som gir avskjerming av lekkasjepunkter, vannet samles opp og føres kontrollert ned til vannflaten i skipstunnelen. Det finnes en rekke ulike varianter av slike systemer på markedet i dag som kan passe dette formålet, der noen er laget for å samle konsentrerte lekkasjepunkter mens andre er mer egnet til å håndtere en noe større flate med eksempelvis fukt og små vandrypp. De består i utgangspunktet av ulike typer membraner som festes på overflaten på tunnelveggen og som påføres sprøytebetong.

Mengder og enhetspriser

Som grunnlag for kostnadsberegningen legges besluttet konsept og bruk av Giertsen Tunnelhvelv i kombinasjon med takrenne langs installasjonen. På veggene så foreslås det å bruke enkle kanaler, slik at man kan velge system der man skaper kanaler uten at de behøver brannsikring og dermed heller ikke tildekkes med sprøytebetong.

Det legges til grunn at sannsynlig mengde er høyere (dobbel så stor) som i forprosjektet og KS2. Det antas at vannsikringen som et minimum må legges over hele hengt i hvert fall 100 meter inn fra hver side. Det gir 200 meter x 60 m² = 12000 m² og 400 meter takrenne. Beste fall settes til 2 ganger denne mengden. Dersom man antar at det blir 100 lekkasjepunkter i veggene som blir ført ned til vannflaten i tunnelen så har vi om lag 2000 meter med installasjon.

Mengder for tre ulike scenarier fremgår av Tabell 22.

Tabell 22. Vann- og frostsikringsmengder

| Type | Beste fall | Sannsynlig | Verste fall |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Giertsen tunnelduk i heng med takrenne | 24 000 m ² | 30 240 m ² | 66 000 m ² |
| | + | + | + |
| | 800 m takrenne | 1080 m takrenne | 1 800 m takrenne |
| Punktlekkasjer som ledes til vannflaten | 500 lm | 2 000 lm | 3 000 lm |

Følgende enhetspriser legges til grunn for kostnadsberegningen:

Tabell 23. Enhetspriser vann- og frostsikring.

| Type | Enhetspris |
|--------------------|------------|
| Giertsen tunnelduk | ████████ |
| Takrenne | ████████ |
| Punktlekkasjer | ████████ |

Hindringer

Tunnelen er planlagt drevet på tvers av en åsrygg der det ikke er observert lokale tjern eller vann, det er ingen hus eller bebyggelse over tunneltraseen eller langs denne med kritisk avstand til tunnelen.

Det er derfor ikke forventet at det blir behov for systematisk injeksjon i noen strekning langs tunnelen av hensyn til det eksterne miljøet. Behovsprøvd injeksjon kan komme til anvendelse om det skulle vise seg at tunnelen punkterer en lekkasjeførende sprekk som medfører et arbeidsmiljø i tunnelen under bygging som er uakseptabelt. Vanntapsmålingene og lekkasjeforholdene i kjerneboringen indikerer at slike punkter kan opptre lokalt.

Tabell 24. Dokumenter vann- og frostsikring

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|--|-------------------------|
| Meteorologiske målinger ved portaler Årsrapport 2017-2018 | Norconsult (27.02.2019) |

2.4.8 Brann, rømning og ventilasjon

Meteorologiske målinger ved portaler og ventilasjon

Resultatene fra de meteorologiske målingene ved portalene viser i all hovedsak den samme fordelingen av trekk i tunnelen som i de tidligere analysene, dvs. middelhastighet rundt 2 m/s i den ene eller andre retningen. Målingene bekrefter dermed vurderingen fra forprosjekt om at naturlig ventilasjon kan legges til grunn for skipstunnelen.

Vindroser fra målestasjonene er benyttet i gjennomføringen av simuleringsforsøkene som beskrevet i 2.4.1 for å gi mest mulig realistiske forhold for innseilingsforsøkene.

Adkomst- og servicetunnel og konsekvenser for brann- og rømningskonsept

Som beskrevet i 2.4.4 inneholder det videreutviklede driftskonseptet for tunneldrivingen en service-tunnel parallelt med skipstunnelen. En slik tunnel vil i driftsfasen kunne fungere som en ekstra rømningsvei i tillegg til ledekonstruksjonen i selve skipstunnelen.

To rømningsveier gjør redningskonseptet mer robust enn det som lå til grunn i forprosjektet. Om det er ønskelig å benytte tunnelen til evakuering/rømning vil det sannsynligvis være hensiktsmessig å lage flere avstikkere inn på nivå 1,75.

Det understrekes at basisestimatet kun tar hensyn til det gjeldende rømningskonseptet som ikke inkluderer servicetunnelen som ekstra rømningstunnel. Eventuelle kostnader til avstikkere osv. er

derfor ikke medtatt. Se ellers Vedlegg 3 for en ytterligere detaljering av kostnadsbildet ved å benytte adkomst- og servicetunnelen som rømningstunnel.

2.4.9 Kuttliste: gangbane i tunnelheng

I tillegg til justeringene beskrevet over er det besluttet å ta ut gangbanen i tunneloverhenget. Hensikten med gangbanen var å benytte den til vedlikehold av seilingslyset i tunnelen. Tiltaket var i utgangspunktet på prosjektets kuttliste, og prosjektet mener det finnes fullgode alternative vedlikeholdskonsepser som vil være kostnadsbesparende.

Det reviderte konseptet vil kreve at tunnelen stenges i vedlikeholdsperioden. Hyppigheten av vedlikeholdet står derfor sentralt for både driften av tunnelen og for vedlikeholdskostnadene. Vedlikeholdsbehovet vil i sin tur i stor grad bli bestemt av levetiden til lyskildene. I forprosjektet ble det gjort overordnede levetidsbetraktninger som satte levetiden til lyskilder og drivere til 10 år.

Overordnet finnes det to teknologialternativer³ for lys i tunneler:

1. Lysrørinstallasjoner
2. LED-anlegg

Standard lysrørinstallasjoner for vegtunneler har en forventet levetid på 60 000-70 000 timer, mens LED-belysning leveres med levetid på 50 000–100 000 timer. Med et driftsår satt til 8760 timer vil levetiden for lysrørinstallasjoner være på 7–8 år, mens LED-belysning vil kunne vare i 6–12 år.

Det reviderte konseptet vil basere seg på syklisk vedlikehold. Med levetiden som er skissert over vil man måtte utføre vedlikehold av belysningsanlegget hvert 6.–12. år, avhengig av valgt teknologi. Prosjektet legger til grunn at belysningsvedlikeholdet planlegges sammen med annet vedlikehold slik at den totale nedetiden for tunnelen og vedlikeholdskostnadene minimeres.

Det er utarbeidet nye snitt-tegninger som viser tverrsnitt av tunnelen uten gangbane.

Tabell 25. Dokumenter Kuttliste

| Dokument | Utarbeidet av (dato) |
|-------------------------------|------------------------------------|
| K131 Tverrsnitt uten gangbane | Dr. Techn. Olav Olsen (13.05.2019) |

³ Statens vegvesen / Norconsult. 2016 *Fremtidens tunnelbelysning*

3 Oppdatering styrende dokumentasjon

3.1 Grunnkalkyle

De nye løsningene for Stad skipstunnel som er beskrevet over har følgende konsekvenser for prosjektets kostnadsbilde:

Tabell 26. Oppdatert grunnkalkyle. Alle tall er 2016-tall, inkl. rigg og drift og eks. mva

| Kostnadselement | KS2 | Videreutvikling | Sum |
|---------------------------|---------------|-----------------|---------------|
| A Veg i dagen | | | |
| B Konstruksjoner | | - | |
| C Fjelltunnel | | - | |
| D Tekniske installasjoner | | | |
| E Andre tiltak | | | |
| P Byggherrekostnader | | | |
| Q Grunnerverv | | | |
| Sum basiskalkyle | 2 430 357 000 | - 511 765 769 | 1 918 591 231 |

I tillegg til de spesifikke prosjektendringene er uspesifisert-posten oppdatert for begge kostnadspostene oppdatert. KS2 anbefalte en mer spesifikk tilnærming til uspesifisert på postnivå. Vi har derfor beholdt uspesifisert påslaget fra KS2 (10%), men justert slik at det samsvarer med de nye oppdaterte kostnadspostene.

Under følger en beskrivelse av justeringene på hhv. kostnadspost B Konstruksjoner og C Fjelltunnel.

3.1.1 Justering B Konstruksjoner

Tabell 27. Justering B Konstruksjoner, inkl. rigg og drift.

| Kostnadselement | Justering |
|-----------------------------|---------------|
| B1 Bru i Moldefjorden | - |
| B2 Entringskonstruksjoner | - |
| B3 Ledekonstruksjoner | - |
| B4 Gangbane inkl. taljebane | - |
| Justering uspesifisert | - |
| Sum justeringer | - 270 347 500 |

3.1.2 Justering C Fjelltunnel

Tabell 28. Justering C Fjelltunnel

| Kostnadselement | Justering |
|--|-----------|
| Sum justering C1 Sprenging/masseflytting | - |
| Justering enhetspris sprengning | - |
| Justering rigg og drift sprengning | - |

| | | |
|--|---|-------------|
| Tillegg adkomst- og servicetunnel | | |
| Sum justering C2 Sikring | - | |
| Endrede bergsikringsmengder | - | |
| Sum justering C3 Vann- og frostsikring | - | |
| Endrede mengder vann- og frostsikring | - | |
| Justert uspesifisert | - | |
| Sum justeringer | - | 241 418 269 |

3.2 Oppdatert kostnadsoverslag

Oppdatert kostnadsoverslag blir som følger:

Tabell 29. Oppdatert kostnadsoverslag. Alle tall er 2016-tall og eks. mva.

| Kostnadselement | Sum |
|---------------------------|---------------|
| A Veg i dagen | |
| B Konstruksjoner | |
| C Fjelltunnel | |
| D Tekniske installasjoner | |
| E Andre tiltak | |
| P Byggherrekostnader | |
| Q Grunnerverv | |
| Sum basiskalkyle | 1 918 591 231 |

3.3 Lønns- og prisstigning

I sin bestilling til Kystverket har departementet foreslått en prisjustering av investeringsrammen fra NTP basert på en 45/55 fordeling mellom to indekser; hhv. *Byggekostnadsindeks for fjelltunnel* og *Byggekostnadsindeks for veganlegg i alt*.

Veganlegg i alt er ifølge SSB vektet sammen av veg i dagen (59 pst.), fjelltunnel (19 pst.) og betongbru (22 pst.). Kostnadspost C Fjelltunnel er den største enkeltposten i prosjektet. Utførelsen av arbeidene i C Fjelltunnel er en kombinasjon av sprengningsarbeider, veg i dagen, masseflytting og betongarbeider. Det samme kan sies å være tilfelle for kostnadene sett under ett. *Veganlegg i alt* reflekterer dermed godt kostnadsbildet i prosjektet.

Videre har KS2 gjennomgående brukt *Byggekostnadsindeks for veianlegg i alt*. For at resultatene fra optimaliseringsprosessen skal bli mest mulig sammenlignbare med KS2 foreslås det derfor at *Byggekostnadsindeks for veianlegg i alt* benyttes for å justere for lønns- og prisstigningen.

Tabell 30. SSBs Byggekostnadsindeks for veianlegg i alt.

| | |
|-----------------|-------|
| | |
| 1. kvartal 2016 | 159,2 |
| 1. kvartal 2019 | 174,2 |

SSBs Byggekostnadsindeks for veianlegg i alt fra 3. kvartal 2016 til 1. kvartal 2019 fremgår av Tabell 30. Dette gir en lønns- og prisstigning i perioden på 9,42 %.

Justert for lønns- og prisstigning er det oppdaterte kostnadsoverslaget som følger:

Tabell 31. Oppdatert kostnadsoverslag. Prisjustert, eks. mva.

| Kostnadselement | 3KV2016 | LPS | 1KV2019 |
|---------------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| A Veg i dagen | | | |
| B Konstruksjoner | | | |
| C Fjelltunnel | | | |
| D Tekniske installasjoner | | | |
| E Andre tiltak | | | |
| P Byggherrekostnader | | | |
| Q Grunnerverv | | | |
| | | | |
| Sum basiskalkyle | 1 918 591 231 | 180 731 294 | 2 099 322 525 |

3.4 Oppdatert kuttliste

I optimaliseringsprosessen er følgende tiltak fra prosjektets kuttliste realisert:

- Fjerne gangbane i tunneltaket
- Forkorte transporter av masser
- Billigere entringskonstruksjoner

I løpet av optimaliseringsprosessen er følgende mulige besparelser identifisert:

- Endring av geometri portalområder

Prosjektets oppdaterte kuttliste ser dermed ut som følger:

Tabell 32. Oppdatert kuttliste

| Beskrivelse | Beslutningstidspunkt | Kostnad |
|-----------------------------|----------------------|---|
| Endre geometri portalområde | Før bygging | 30 % reduksjon skjæring. Ekstra lengde tunnel ikke avklart. |
| Salg av stein | Under bygging | Mulig inntekt |

3.5 Prosjektets usikkerhetsbilde

En oppdatering av prosjektets usikkerhetsbilde er dokumentert gjennom en usikkerhetsanalyse som beskrevet under.

3.5.1 Metodikk

Med utgangspunkt i den prisjusterte kostnadsoverslaget i Tabell 31 er det utført en usikkerhetsanalyse basert på standard metodikk og krav som følger av statens kvalitetssikringsregime.

Estimatusikkerheten i kostnadselementene og usikkerhetsforholdene er estimert ved trippelanslag. Trippelsanslaget definerer et usikkerhetsspenn omkring anslått sannsynlig verdi. Det er benyttet 10 prosent (P10) og 90 prosent (P90) sannsynlighet mot overskridelse for inngangsdata ved definering av usikkerhetsspennet. Estimerte sannsynlige verdier og tilhørende estimatusikkerhet er inngangsparametere i en statistisk sannsynlighetsberegning.

Det er benyttet et analyseverktøy basert på Microsoft Excel og @Risk til beregningsarbeid i usikkerhetsanalysen. I beregninger av usikre verdier benyttes Monte Carlo-simulering. Simuleringen tar utgangspunkt i PERT-sannsynlighetsfordeling, definert på bakgrunn av de fastsatte trepunktsestimatene for de usikre verdiene.

I forbindelse med usikkerhetsanalysen ble det 26. april 2019 gjennomført en gruppeprosess med deltakere fra Kystverket, Dr. Techn. Olav Olsen og Concreto. Hensikten var å diskutere hvordan optimaliseringsprosessen har påvirket grunnkalkylen (herunder uspesifisert), estimatusikkerheten samt usikkerhetsfaktorene i prosjektet.

3.5.2 Estimatusikkerhet

Estimatusikkerheten er beholdt på samme nivå som KS2 etter de vurderingene som ble gjort i gruppeprosessen. Det reflekterer at endringene i grunnkalkylen har endret den sannsynlige verdien, men ikke påvirket spennet på estimatene.

3.5.3 Usikkerhetsfaktorer

For å få mest mulig sammenlignbare resultater har vi valgt å beholde de samme usikkerhetsfaktorene som KS2-rapporten har benyttet. Det er gjort justeringer i henhold til det som er videreutviklet i løpet av verdianalysen og for enkelte andre vurderinger av forholdene.

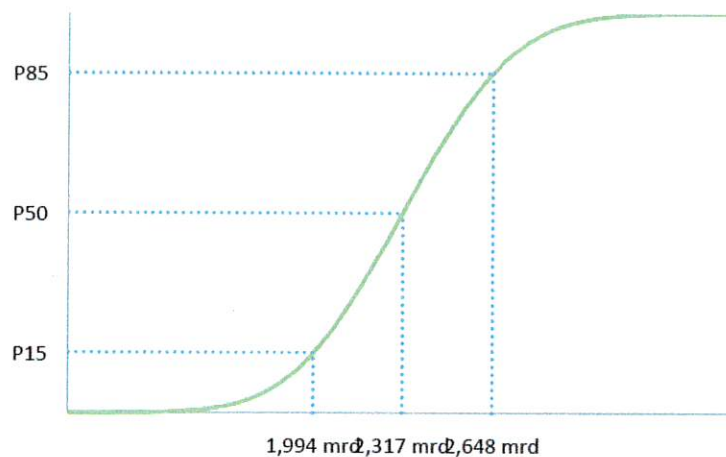
3.5.4 Resultat fra usikkerhetsanalysen

Nøkkeltall fra usikkerhetsanalysen kan ses i Tabell 33.

Tabell 33. Nøkkeltall usikkerhetsanalyse (1KV2019-tall, eks mva.)

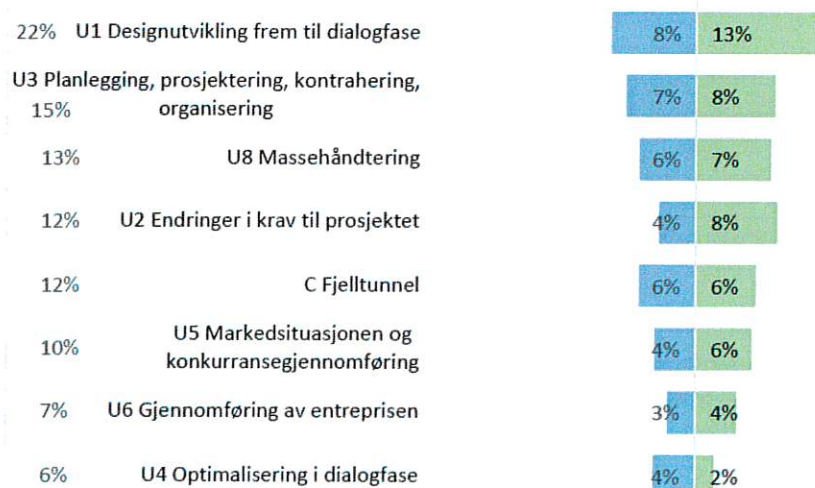
| | |
|----------------------------|----------------------|
| Basiskostnad | 2 099 322 525 |
| Forventet tillegg | 218 149 384 (10,4 %) |
| STYRINGSRAMME (P50) | 2 317 471 909 |
| Usikkerhetsavsetning | 330 387 278 (14,3 %) |
| KOSTNADSRAMME (P85) | 2 647 859 187 |
| Prosjektets standardavvik | 312 259 836 (13,5 %) |

Prosjektets S-kurve kan ses i Figur 12.



Figur 12. S-kurve

Prosjektets Tornado-diagram i Figur 13 viser usikkerhetsfaktorene relative bidrag til prosjektets usikkerhetsbilde.



Figur 13. Tornadodiagram

3.6 Oppdatert styrings- og kostnadsramme

Med lønns- og prisstigning som beskrevet over blir styrings- og kostnadsramme for det optimaliserte Stad skipstunnel-prosjektet som følger:

Tabell 34. Oppdatert kostnads- og styringsramme. 1 kv. 2019-priser.

| | eks. mva. | inkl. 15,5 % mva. |
|---------------------|---------------|-------------------|
| Styringsramme (P50) | 2 317 471 909 | 2 676 680 055 |
| Kostnadsramme (P85) | 2 647 859 187 | 3 058 277 361 |

3.7 Fremdriftsplan

Følgende tentative fremdriftsplan legges til grunn for prosjektet:

Tabell 35. Tentativ fremdriftsplan

| Aktivitet | Tidspunkt |
|-----------------------------|------------|
| Investeringsbeslutning | 2020 |
| Kontrahering av entreprenør | 2021 |
| Byggestart | 2021 |
| Ferdigstilling | 2024 |
| Tas i bruk | Start 2025 |

3.8 Sammenligning med NTP

Departementet skriver i sin bestilling at investeringsrammen i NTP er satt til 2 699 mill. kroner i 2016-priser. Tallene i tabellen er inkludert 15,5 % merverdiavgift, i henhold til avklaring fra Samferdselsdepartementet. Ved å prisjustere investeringsrammen i NTP til 1. kvartal 2019 får vi følgende sammenligningsgrunnlag:

Tabell 36. Sammenligning NTP og optimalisert Stad skipstunnel. 1. kvartal 2019-priser.

| | |
|-----------------------|------------|
| Investeringsramme NTP | 2 953 MNOK |
| Styringsramme (P50) | 2 677 MNOK |
| Kostnadsramme (P85) | 3 058 MNOK |

3.9 Momsberegning

KS2 la til grunn at alle kostnadene var mva-pliktige med 25%, utenom 1/3 av byggherrekostnadene som er fritatt (intern administrasjon). Med et slikt beregningsgrunnlag blir styrings- og kostnadsrammen som følger:

Tabell 37. Kostnads- og styringsramme. 1 kv. 2019-priser.

| | Inkl. mva. |
|---------------------|---------------|
| Styringsramme (P50) | 2 876 355 866 |
| Kostnadsramme (P85) | 3 286 419 687 |

Vedleggsliste

Denne rapporten har følgende vedlegg:

- Vedlegg 1 Videreutvikling av konsept mai 2019
- Vedlegg 2 Report Stad Tunnel (draft)
- Vedlegg 3 Revidert forslag til tunneldrift
- Vedlegg 4 Dokumentliste videreutviklingsfasen